

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

Evaluación y propuesta de tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (ARU) de la Aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango

Por:

DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS

Carné: 201131290

Mazatenango, Julio 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL



TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS (ARU) DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO

**Trabajo presentado a las autoridades del Centro Universitario de
Suroccidente -CUNSUROC- de la Universidad de San Carlos de Guatemala -
USAC-**

Por:

DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS

CARNÉ: 201131290

Previo a conferírsele el título que le acredita como:
Ingeniero en Gestión Ambiental Local
En el grado académico de Licenciado

Mazatenango, Julio 2017

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

AUTORIDADES

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo	Rector
Dr. Carlos Enrique Camey Rodas	Secretario General

**CONSEJO DIRECTIVO
DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano	Director
----------------------------------	----------

Representantes de Docentes

M.Sc. José Norberto Thomas Villatoro	Secretario
M.Sc. Mirna Nineth Hernández Palma	Vocal

Representante Graduado del Centro Universitario de Suroccidente

Lic. Ángel Estuardo López Mejía	Vocal
---------------------------------	-------

Representantes Estudiantiles

Licda. Elisa Raquel Martínez González	Vocal
Br. Irrael Esduardo Arriaza Jerez	Vocal

**AUTORIDADES DE COORDINACIÓN ACADÉMICA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

Coordinador Académico

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador de la Carrera de Licenciatura en Administración de Empresas

MSc. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa

Coordinador de la Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Lic. Luis Carlos Muñoz López

Coordinador de la Carrera de Pedagogía

MSc. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Alimentos

Ph.D. Marco Antonio Del Cid Flores

Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical

MSc. Jorge Rubén Sosof Vásquez

**Coordinadora de la Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales
Abogacía y Notariado**

MSc. Tania María Cabrera Ovalle

Coordinadora de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Inga. Agra. Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume

Coordinador de Área Social

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

**Carreras Plan Fin de Semana
del Centro Universitario de Suroccidente**

Coordinadora de la Carrera de Pedagogía

MSc. Tania Elvira Marroquín Vásquez

**Coordinadora de la Carrera de Periodista Profesional y Licenciatura en
Ciencias de la Comunicación**

MSc. Paola Marisol Rabanales

Mazatenango Suchitepéquez, 07 de julio de 2017

Señores
Honorable Consejo Directivo
Centro Universitario de Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables Señores:

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el Trabajo de Graduación titulado: **"Evaluación y propuesta de tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango"**.

Trabajo presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciado, con los padrinos: Ingeniero Agrónomo Francisco Javier Espinoza Marroquín e Ingeniero Agroindustrial Julio Armando Teletor Jerónimo, por lo cual solicito me sea concedido fijar fecha de graduación para el día 21 de julio del presente año a las 17:00 horas.

Esperando que el trabajo de graduación merezca su aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente,



David Guadalupe Ramos Barrios
Carné: 201131290

DEDICATORIA

- A DIOS:** Por ser el soporte principal de mi salud mental y emocional durante la etapa final de mi carrera universitaria.
- A MI FAMILIA:** Por todo el apoyo moral y económico durante mi carrera universitaria.
- A LA PASTORAL JUVENIL:** Siendo parte fundamental en mi reconciliación con nuestro padre supremo “Dios”.
- AL PROGRAMA DE BECAS:** Por el apoyo económico durante el año 2014 y 2015 en mi carrera universitaria.
- A MIS AMIGOS:** Por estar apoyándome durante los momentos más difíciles de mi vida profesional y personal.
- A MIS CATEDRÁTICOS:** Porque todos fueron parte esencial en mi formación académica durante estos últimos cinco años.
- A ALICIA ELENA:** Mi amiga especial y excelente futura Licenciada en Biología.
- A MIS AMIGAS DE EPS:** Por formar parte durante mi Ejercicio Profesional Supervisado Multiprofesional en Asociación Sotz’il ONG.

AGRADECIMIENTOS

- A:** Universidad de San Carlos de Guatemala y la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por acogerme tan bien durante estos últimos cinco años y facilitarme los conocimientos adquiridos en mi formación académica universitaria.
- A:** Programa de Becas del Ejercicio Profesional Supervisado Multiprofesional (EPSUM), por la ayuda monetaria y asesoría durante la ejecución del Ejercicio Profesional Supervisado.
- A:** Personal que labora en Asociación Sotz'il ONG por permitir la ejecución y facilitación de toda la información necesaria durante el Ejercicio Profesional Supervisado, y la asesoría brindada de parte de la Licenciada Bióloga Amarilis Gómez Ibarra, Directora del Eje Programático de Investigación y Planificación de esta institución.
- A:** Las entidades gubernamentales, asociaciones comunitarias y sociedad en general, pertenecientes al municipio de Acatenango, principalmente la aldea San Antonio Nejapa, por facilitar y participar en la obtención de los datos necesarios para la ejecución del presente documento.
- A:** Laboratorio ECOQUIMSA S.A., por participar en el análisis de las muestras de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.
- A:** M.Sc. Eysen Rodrigo Enríquez Ochoa, Ingeniera Agrónoma Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume, Licenciada Química Farmacéutica Karen Rebeca Pérez Cifuentes, Ingeniero Civil Allan Castro e Ingeniera Mirna Lucrecia Vela Armas por la asesoría y revisión del presente documento.
- A:** Todos los catedráticos y personas partícipes en la facilitación de los conocimientos necesarios para la culminación de mi carrera universitaria.

ÍNDICE

i. ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
III. OBJETIVOS.....	5
1. General.....	5
2. Específicos.....	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1. Aldea San Antonio Nejapa.....	6
4.1.1. Delimitación geográfica.....	6
4.1.2. Historia de la aldea San Antonio Nejapa.....	6
4.1.3. Demografía.....	8
4.1.4. Acceso a saneamiento ambiental.....	8
4.1.4.1. Acceso a drenajes.....	8
4.1.4.2. Acceso a agua entubada y sistemas de cloración.....	8
4.2. Las aguas residuales en la República de Guatemala.....	10
4.2.1. El recurso hídrico de la República de Guatemala.....	10
4.2.2. Situación actual de las aguas residuales a nivel nacional.....	11
4.2.2.1. Legislación ambiental guatemalteca sobre aguas residuales.....	12
4.2.2.2. Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo No. 236 – 2006 de la República de Guatemala.....	14
4.2.2.3. Reforma al Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 de fecha cinco (5) de mayo del año dos mil seis (2006), Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.....	15
4.2.2.4. Prórroga para el tratamiento de las aguas residuales en Guatemala.....	16
4.3. Parámetros de referencia para el tratamiento de las aguas residuales en Guatemala.....	17

i. ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
4.3.1. Parámetros físicos.....	18
4.3.2. Parámetros químicos	18
4.3.2.1. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO)	19
4.3.2.2. Metales pesados	22
4.3.3. Parámetros microbiológicos.....	22
4.4. Habitantes equivalentes.....	22
4.5. Tipos de tratamiento de aguas residuales.....	23
4.6. Planta de tratamiento de aguas residuales.....	24
4.6.1. Pretratamiento	24
4.6.1.1. Canal de rejas (rejillas).....	24
4.6.1.2. Desarenadores.....	27
4.6.2. Tratamiento primario.....	28
4.6.2.1. Fundamentos de la decantación primaria.....	28
4.6.2.2. Sedimentador primario	29
4.6.3. Tratamiento biológico	29
4.6.3.1. Teoría de la aireación.....	30
4.6.3.2. Reacciones del tratamiento biológico	30
4.6.3.3. Proceso aerobio.....	31
4.6.3.4. Microorganismos en el tratamiento biológico.....	31
4.6.3.5. Filtro percolador.....	32
V. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	35
5.1. Materiales.....	35
5.2. Metodología	36
5.2.1. Identificación del sistema de recolección y descarga de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.....	36
5.2.2. Caracterización de los niveles de contaminación de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.....	36
5.2.2.1. Identificación del punto y la hora para la toma de la muestra de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa.....	36

i. ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
5.2.2.2. Determinación de las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.....	40
5.2.3. Establecimiento del grado de cumplimiento de la legislación guatemalteca vigente para las descargas de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.....	43
5.2.3.1. Análisis de los resultados de la caracterización de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.....	43
5.2.4. Propuesta del modelo de gestión integral de las aguas residuales de la Aldea San Antonio Nejapa.....	44
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
6.1. Identificación del sistema de recolección y descarga de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.....	45
6.1.1. Caudales de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa.....	51
6.2. Determinación de las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa y su establecimiento del grado de cumplimiento de acuerdo a la legislación guatemalteca vigente	55
6.2.1. La relación de la DBO ₅ y la DQO.....	57
6.2.2. La carga contaminante.....	57
6.2.3. Habitantes equivalentes (h-eq) en San Antonio Nejapa	58
6.3. Propuesta del modelo de gestión integral de las aguas residuales urbanas de la Aldea San Antonio Nejapa	58
6.3.1. Tratamiento en el sitio.....	60
VII. CONCLUSIONES.....	62
VIII. RECOMENDACIONES.....	63
IX. BIBLIOGRAFÍA	64

i. ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
X. ANEXOS.....	69
Anexo 1. Datos para la medición de caudales de aguas residuales.....	69
Anexo 2. Propuesta de terrenos para la ejecución de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.....	70
Anexo 3. Diseño y presupuesto de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en San Antonio Nejapa.....	72
Anexo 4. Propuesta general del proceso de ejecución del proyecto.....	88
Anexo 5. Operación y mantenimiento de las PTAR de San Antonio Nejapa.....	90
Anexo 6. Inversión en la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa	92
Anexo 7. Informe de los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa elaborado por el laboratorio ECOQUIMSA.....	93
Anexo 8. Fotografías y mapas de la evaluación de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.....	97

ii. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Matriz o cuadro de los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y de urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público.....	15
2. Modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno.....	21
3. Aportes de carga por habitante y por día (valores promedio).....	23
4. Tipos de tratamiento de aguas residuales.....	23
5. Criterios de diseño de las rejillas de desbaste.....	25
6. Velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de arenas a una temperatura de 16°C y una eliminación cercana al 90%.....	27
7. Criterios de diseño de los desarenadores.....	27
8. Criterios de diseño para filtros percoladores, según tipo de operación y medio de contacto.....	34
9. Equipo empleado en la ejecución de la evaluación y propuesta de tratamiento de las aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango.....	35
10. Representatividad de las aguas residuales ordinarias de la aldea San Antonio Nejapa según su disposición final.....	48
11. Caudales de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) vertidas desde el punto “A” de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango.....	51
12. Caudales de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) vertidas desde el punto “B” de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango.....	52
13. Matriz comparativa para el cumplimiento de las descargas de aguas residuales de tipo ordinaria del punto de descarga “B” de la aldea San Antonio Nejapa para el año 2017.....	55
14. Reducción porcentual mínima de los niveles de contaminación de las aguas residuales urbanas de San Antonio Nejapa, según lo especificado en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015.....	59
15. Datos para el cálculo de la medición de caudales del punto de descarga A de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa.....	69

ii. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
16. Datos para el cálculo de la medición de caudales del punto de descarga B de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa	69
17. Información de los terrenos para la ejecución de las PTAR para las aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa	70
18. Presupuesto de materiales del canal de rejas y desarenador	81
19. Presupuesto de materiales de la trampa de grasas	81
20. Presupuesto de materiales del sedimentador primario	82
21. Presupuesto de materiales del filtro percolador de piedra volcánica o de río	83
22. Presupuesto total de materiales para la construcción de una PTAR en San Antonio Nejapa	84
23. Actividades en el proceso de planificación y ejecución del proyecto de tratamiento de aguas residuales urbanas de San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango	88
24. Propuesta de salarios para el personal de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa	91
25. Equipo mínimo de cada PTAR de San Antonio Nejapa	92

iii. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de la aldea San Antonio Nejapa.....	7
2. Mapa de servicios de la aldea San Antonio Nejapa.....	9
3. Jerarquía de la legislación ambiental guatemalteca sobre aguas residuales.....	12
4. Esquema del tratamiento de las aguas residuales.....	24
5. Descomposición biológica de la materia orgánica.....	29
6. Metabolismo aeróbico de la materia orgánica.....	31
7. Tipos de reactores para el tratamiento aerobio de aguas residuales.....	32
8. Distribución y actividad de la biomasa en un filtro percolador.....	33
9. Ilustración de los puntos de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa.....	45
10. Representatividad en porcentajes de la descarga de aguas residuales urbanas (ARU) en la aldea San Antonio Nejapa.....	46
11. Porcentaje de las viviendas sin y con conexión al alcantarillado público en la aldea San Antonio Nejapa.....	47
12. Ecurrimiento de aguas residuales domésticas en las calles de la aldea San Antonio Nejapa.....	48
13. Porcentajes de representatividad de la descarga de aguas residuales de tipo ordinaria en San Antonio Nejapa.....	49
14. Puntos de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa.....	50
15. Gráfica comparativa de las mediciones de caudales del punto A de descarga de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango.....	53
16. Gráfica comparativa del caudal promedio y la media (caudal promedio total) del punto A de descarga de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa.....	53
17. Gráfica comparativa de las mediciones de caudales del punto B de descarga de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango.....	54
18. Gráfica comparativa del caudal promedio y la media (caudal promedio total) del punto A de descarga de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa.....	54

iii. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
19. Patio de secado de lodos	60
20. Esquema de un sistema individual de tratamiento de aguas residuales con 4 opciones de disposición de las aguas residuales tratadas: 1) Riego; 2) Campo de Infiltración; 3) Pozo de absorción; y 4) Corriente hídrica	61
21. Terrenos propuestos para la ejecución de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa	71
22. Canal de rejas y desarenador	85
23. Trampa de grasas	86
24. Sedimentador primario	86
25. Filtro percolador de piedra volcánica o de río	87
26. Propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa	87
27. Medición de la temperatura y pH de las aguas Residuales	97
28. Medición de la temperatura del cuerpo receptor (río San Antonio)	97
29. Toma de muestras de aguas residuales	98
30. Medición de caudales de aguas residuales del punto de descarga A	98
31. Contaminación de la Quebrada Chajiyá por aguas residuales de San Antonio Nejapa	98
32. Toma de agua que se encuentra en el terreno disponible para la PTAR del punto de descarga A	99
33. Terreno disponible para la ejecución de la PTAR del punto de descarga A	99
34. Terreno disponible para la ejecución de la PTAR del punto de descarga B	99
35. Ubicación del departamento de Chimaltenango	100
36. Municipios del departamento de Chimaltenango	101
37. Ubicación de la aldea San Antonio Nejapa en el municipio de Acatenango	102
38. Zonas sin servicio de alcantarillado público de la aldea San Antonio Nejapa	103

RESUMEN

Este documento contiene los requisitos mínimos empleados para la ejecución de un estudio técnico de las aguas residuales producidas por los pobladores de la aldea San Antonio Nejapa. En este estudio se ubicaron geográficamente los puntos de descarga de aguas residuales de tipo ordinaria (doméstica) de esta comunidad; se caracterizaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos; asimismo, se elaboró a partir de los niveles de contaminación presentes, según el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006) y su enmienda del año 2015 (Acuerdo Gubernativo No. 129-2015), la propuesta de tratamiento para éstas.

Los resultados de la evaluación de las aguas residuales urbanas (ARU) de San Antonio Nejapa, demuestran que hay incumplimiento de tres parámetros (15.79%) de 19 que se toman en cuenta, según el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015 en su artículo uno. Estos parámetros son: materia flotante, coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a 20°C (DBO₅).

La materia flotante se encuentra “presente” en las aguas residuales urbanas de San Antonio Nejapa; ésta según el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015 debe estar “ausente”; esto quiere decir una remoción total de este contaminante.

El límite máximo permisible (LMP) del parámetro de coliformes fecales representa para la etapa uno, valores menores de las 10 millones de coliformes fecales como número más probable en cien mililitros (NMP/100 ml); sin embargo, el resultado de laboratorio demuestra un valor de 13 millones de coliformes fecales como NMP/100 ml, esto quiere decir que debe existir una reducción mínima del 23.10%.

La demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a 20°C (DBO₅), se calcula actualmente en 540 mg O₂/l, y debe manifestar un valor máximo de 250 mg O₂/l para el dos de mayo de dos mil diecisiete (etapa uno). Esto quiere decir que para el cumplimiento de este parámetro debe existir una reducción mínima del 53.71%.

Además, por sus valores cercanos al LMP, se incluyen entre los contaminantes que deben tratarse en las ARU de San Antonio Nejapa, las “grasas y aceites” y “sólidos suspendidos”. Según los análisis de estos contaminantes, demuestran que las “grasas y aceites” se encuentran en 48 mg/l, cuando su LMP es de 50 mg/l; asimismo, los “sólidos suspendidos” se calculan en 256 mg/l, y su LMP es de 275 mg/l.

I. INTRODUCCIÓN

La aldea San Antonio Nejapa pertenece al municipio Acatenango, Chimaltenango, y cuenta con una población de 2,460 habitantes según el censo ejecutado por la municipalidad de Acatenango en 2015. Al igual que otros municipios y/o comunidades a nivel nacional, no se cuenta con un estudio detallado (técnico) que describa y proponga un adecuado tratamiento de las aguas residuales que se producen a nivel local; esto afecta la calidad del recurso hídrico de la microcuenca a la que pertenece esta aldea, que es la del río San Antonio – Quebrada Chajiyá, que según Santos, Ramos y Paz (2016), se encuentra en la zona de recarga hídrica (parte alta) de la cuenca del río Coyolate, y representa el 2.20% del territorio total de la misma.

Este documento se titula “Evaluación y propuesta de tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango”; el cual se ejecutó entre los meses de mayo a agosto de 2016, y equivale al Estudio Técnico que se hace mención en el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 de la República de Guatemala).

El objetivo de la evaluación y propuesta de tratamiento de las ARU de la aldea San Antonio Nejapa, fue evaluar éstas con el fin de promover su tratamiento, considerando los parámetros y sus LMP descritos en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015 de la República de Guatemala.

La investigación se realizó mediante consultas comunitarias, recorridos y mediciones en campo, toma de muestras y análisis físicos, químicos y microbiológicos de las ARU de la aldea San Antonio Nejapa, y su propuesta de tratamiento según sus niveles de contaminación.

En la aldea San Antonio Nejapa, actualmente existen dos puntos de descarga de ARU, que para efectos de esta investigación se denominan como punto de descarga A y B; el punto A es el que vierte las aguas residuales a la corriente hídrica de la Quebrada Chajiyá (río Seco), mientras que el punto B a la corriente hídrica del río San Antonio.

Según mediciones de caudales ejecutados para cada uno de los dos puntos de descarga de ARU de la aldea San Antonio Nejapa, se calcula que del total (100%)

de éstas, el 54.09% se descargan desde el punto B, y los restantes 45.91% del punto A.

Según los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las ARU de San Antonio Nejapa, se deben reducir los niveles de contaminación de “la materia flotante”, “demanda bioquímica de oxígeno” y “coliformes fecales”; además, se debe reducir la contaminación de “grasas y aceites” y “sólidos suspendidos”, parámetros los cuales tienen valores de contaminación muy cercanos al LMP que se establece en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015.

Se propuso que los componentes básicos con los que deben contar las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para esta comunidad, según las metas de reducción de contaminación descritas en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015, deben ser: pretratamiento (canal de rejillas, desarenador y trampa de grasas); tratamiento primario (sedimentador primario); tratamiento secundario (filtro percolador de piedra volcánica o de río).

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la antigüedad, uno de los principales problemas de la urbanización, ha sido la disposición final de los desechos que se generan por las diversas actividades que el ser humano realiza. Uno de estos desechos han sido las aguas residuales o también denominadas “aguas servidas”, las cuales al disponerse sin tratamiento previo (remoción y/o reducción de contaminantes), ocasionan pérdidas de salud de las poblaciones humanas y animales, y la disminución de la disponibilidad de agua de buena calidad para el consumo humano.

Según Madrazgo (2009), citado por Lozano – Rivas (2012), para ese año existían más de 2,600 millones de personas que no tenían acceso a saneamiento básico en el mundo y 1,200 millones carecían de abastecimiento de agua potable.

La contaminación del recurso hídrico (agua) y el abastecimiento de agua limpia, actualmente es un problema global. Según el MARN (2014), describe que más del 90% de los recursos hídricos del país se encuentran contaminados a causa de las aguas residuales sin tratamiento, lo cual ha provocado problemas socio-ambientales a las comunidades con recursos más limitados.

La aldea San Antonio Nejapa del municipio de Acatenango, es una de las comunidades que actualmente no cuentan con ningún tratamiento de sus aguas residuales, y éstas son vertidas al río San Antonio y Quebrada Chajiyá (río Seco), por lo que se sospecha que produce un impacto negativo sobre el ambiente socio-natural.

Según Noyola, Morgan – Sagastume y Güereca (2013), mencionan que “*es incongruente plantear el desarrollo sostenible de un país sin una adecuada atención al tratamiento de las aguas residuales*”. Por lo tanto, mientras no exista un adecuado saneamiento ambiental en San Antonio Nejapa, el desarrollo social y económico así como el bienestar ambiental se verán limitados y afectados.

A la contaminación de los recursos hídricos con los que dispone la aldea San Antonio Nejapa, se le suma la problemática que el acceso al agua entubada es irregular en la zona; por lo tanto, se ven limitados en la obtención de este indispensable recurso.

En la actualidad, San Antonio Nejapa no cuenta con las condiciones idóneas de saneamiento ambiental, por lo que según el Reglamento de las Descargas y

Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006) y su enmienda (Acuerdo Gubernativo No. 129-2015), se está incumpliendo con lo reglamentado; sumado a ello, el atraso social, económico y ambiental que se está provocando a nivel local y regional.

La ilegalidad de este tema podría estarse traduciendo en sanciones a la municipalidad de Acatenango por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Sin embargo, el primer paso metodológico para el tratamiento de estas aguas residuales es la ejecución de un Estudio Técnico de éstas.

III. OBJETIVOS

1. General

- 1.1. Evaluar las aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa.

2. Específicos

- 2.1. Identificar el sistema de recolección y descarga de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.
- 2.2. Determinar las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.
- 2.3. Establecer el grado de cumplimiento de la legislación guatemalteca vigente para las descargas de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.
- 2.4. Proponer un modelo de gestión integral de las aguas residuales urbanas de la Aldea San Antonio Nejapa.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Aldea San Antonio Nejapa

4.1.1. Delimitación geográfica

La aldea San Antonio Nejapa pertenece al municipio de Acatenango, Chimaltenango; su extensión territorial (según la delimitación realizada por el autor de este documento), corresponde a un aproximado de 2.61 km², donde el área poblada equivale a 16.19 hectáreas (6.20%) del territorio de esta localidad.

Su ubicación en coordenadas geográficas corresponde a latitud 14°34'00.96" norte y longitud 90°55'50.70" oeste.

La aldea San Antonio Nejapa representa el 1.52% del territorio total del municipio de Acatenango (en base a los 172 km² que corresponden a este municipio según la Dirección Municipal de Planificación de esta localidad).

Sin embargo, tomando la extensión territorial que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) manifiesta para este municipio (130.98 km²), la misma aldea representa el 1.99% del territorio total de Acatenango.

4.1.2. Historia de la Aldea San Antonio Nejapa

El nombre Acatenango proviene etimológicamente del vocablo Náhuatl acatl - caña o carrizo, utilizado en la elaboración de canastas o cestas; tenamtl- derivado de tenamit; tinamit - muralla, casa o cercado. Es decir "cercado de los carrizos" Puede interpretarse también como "amurallado de cañaveral" (MINEDUC, 2010).

Para abordar la historia local, Fray Francisco de Zuaza citado por el Consejo de Desarrollo Municipal de Acatenango, Chimaltenango y la SEGEPLAN (2010), describió que en el año 1686, este pueblo (Acatenango) se conocía como San Antonio Nexapa (Nejapa).

Respecto a la división política, este poblado se fundó aún en tiempos de la época colonial; y fue declarado como municipio el 27 de agosto de 1836 (Consejo de Desarrollo Municipal de Acatenango, Chimaltenango y la SEGEPLAN, 2010).

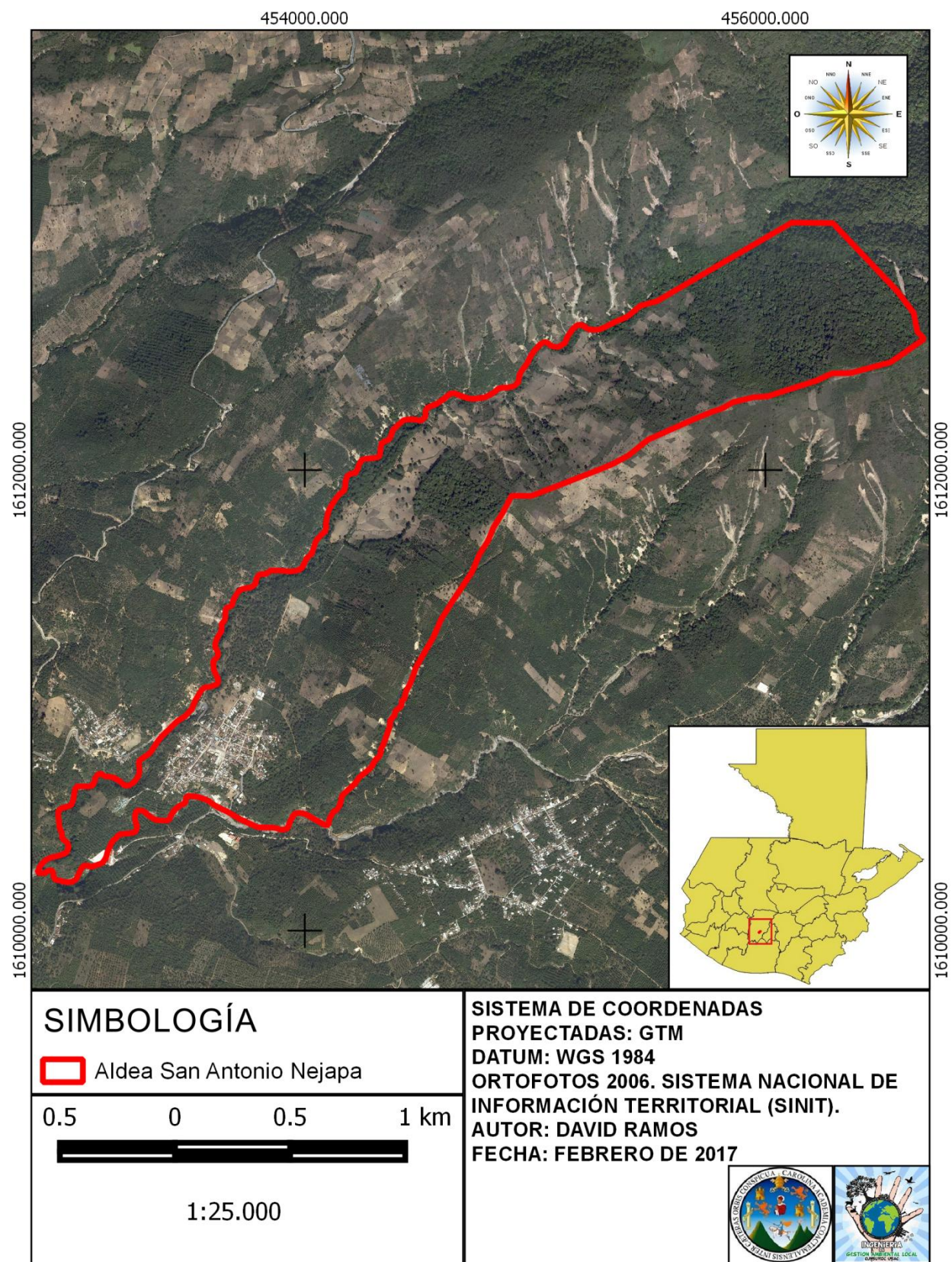


Figura 1. Mapa de la aldea San Antonio Nejapa

Posteriormente, por medio de un acuerdo gubernativo, el 3 de octubre de 1934 bajó de categoría territorial; y fue anexado como una aldea al municipio de Acatenango (Consejo de Desarrollo Municipal de Acatenango, Chimaltenango y la SEGEPLAN, 2010).

Por otra parte, según Elías y Ochoa (2011), la formación del poblado se dio a finales del siglo XVIII; momento para el cual habitaban 521 personas, que conformaban 140 familias.

4.1.3. Demografía

Según la Dirección Municipal de Planificación de Acatenango (2015) citada por Panjoj (2016), la población de San Antonio Nejapa en su mayoría está conformada por habitantes pertenecientes al grupo maya-kaqchikel. Esto ocurre de igual forma a nivel municipal, departamental y regional.

Según la Dirección Municipal de Planificación (2015) citada por Panjoj (2016), la población que compone a la aldea San Antonio Nejapa se encuentra constituida de la siguiente manera: La población total es de 2,460 personas, divididas en 1,208 hombres (49.11%) y 1,252 mujeres (50.89%). Por otra parte, su división etaria es: 1,097 personas (44.59%) entre 0 y 14 años; 1,270 personas (51.63%) entre 15 y 64 años; y, 93 personas (3.78%) de 65 años o más.

4.1.4. Acceso a saneamiento ambiental

4.1.4.1. Acceso a drenajes

“La mayoría de los pobladores de la aldea poseen drenajes. Hasta la fecha el 3% de habitantes no cuentan con este servicio” (Panjoj, 2016).

4.1.4.2. Acceso a agua entubada y sistemas de cloración

El abastecimiento de agua se da por medio de un sistema de tubería hacia los hogares de la aldea de San Antonio Nejapa, el cual no está siendo tratada especialmente en su cloración. La administración del servicio de agua, corresponde principalmente a la municipalidad de Acatenango. Según la población es un servicio muy débil en la gestión de la misma. El servicio de agua es irregular y no se presenta de manera recurrente; además, es un servicio gratuito porque los pobladores no pagan por él (Panjoj, 2016).

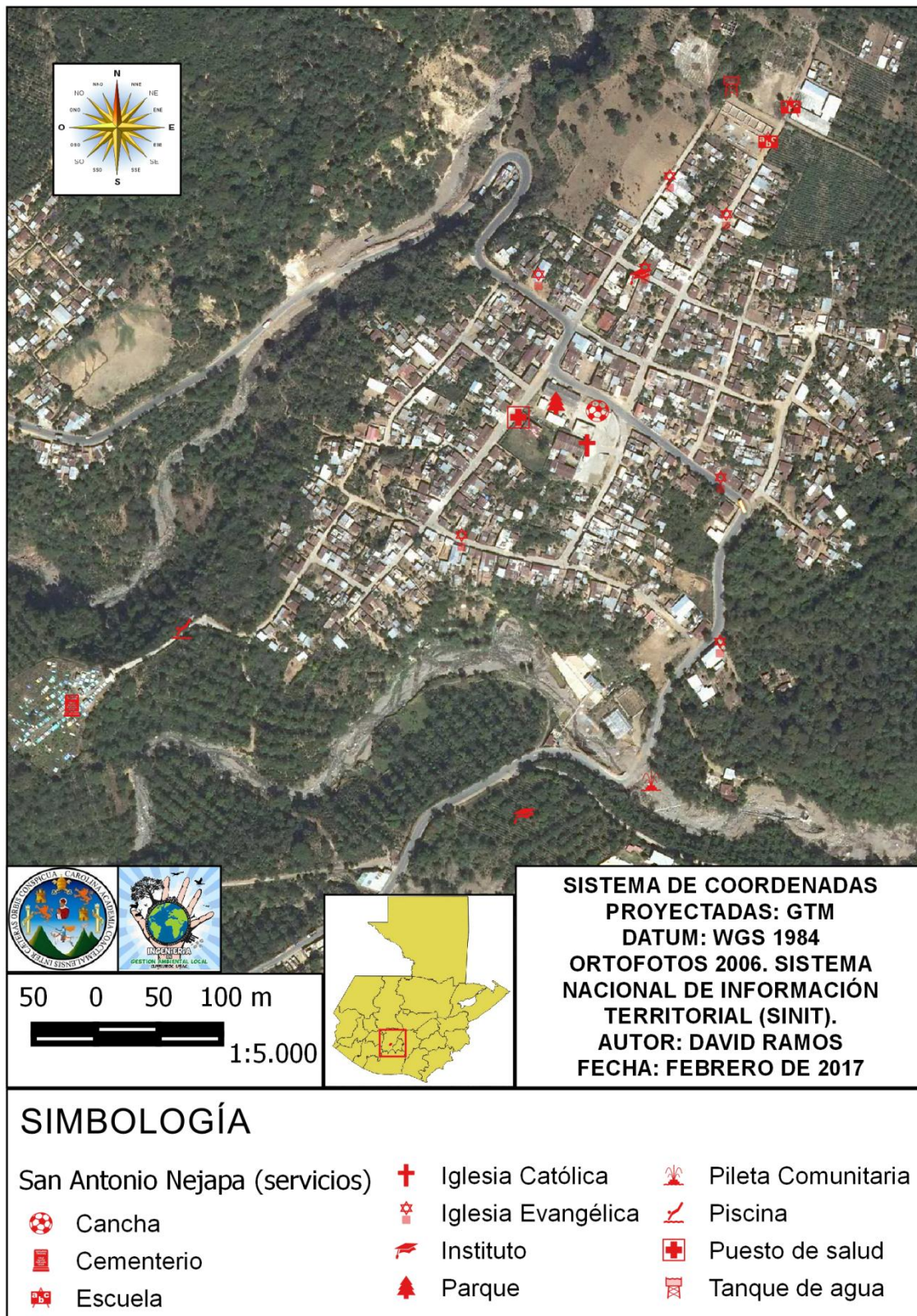


Figura 2. Mapa de servicios de la aldea San Antonio Nejapa

4.2. Las aguas residuales en la República de Guatemala

4.2.1. El recurso hídrico de la República de Guatemala

Guatemala es un país montañoso tropical. De acuerdo con el Perfil Ambiental (2004) citado por Anzueto (2006), la lluvia anual promedio se estima en 2,000 milímetros, con un rango entre 700 milímetros, en las zonas secas del oriente y 5,000 milímetros, para las zonas norte y occidental.

Lo anterior indica que el balance marca un excedente general, pero la proyección para el año 2025 indica un déficit (Anzueto, 2006).

La referencia de un excedente de agua puede dar una idea de abundancia pero, por la distribución de las lluvias, hay meses con exceso de precipitación y otros con escasez; además, deben tomarse en cuenta las limitaciones financieras y administrativas para la captación y distribución del agua en varias poblaciones del país (Anzueto, 2006).

El recurso hídrico o agua es utilizada por los seres humanos de diferentes formas; desde el consumo hasta actividades agrícolas e industriales; en todos estos procesos la calidad del agua normalmente sufre contaminación, y al ser desechadas son consideradas como “aguas residuales”, las cuales sin previo tratamiento al ser descargadas a cuerpos receptores (ríos, lagos, mares, suelos), tienden a ser uno de los principales contaminantes ambientales en la actualidad a nivel nacional.

Investigadores de la Universidad de San Carlos de Guatemala afirman en un estudio (2014), que aproximadamente el 95% de los líquidos que provienen de plantas industriales, regresan a los ríos, mares y lagos sin haber sido tratadas anteriormente. Esto quiere decir que aunque el recurso hídrico es abundante en Guatemala, no se aprovecha correctamente (Orantes, 2015).

El agua potable es recolectada después de ser utilizada por el sistema de alcantarillado y es conducida a las plantas para luego ser devueltas a los ríos o al mar; sin embargo, cuando no hay planta de tratamiento y estas aguas son descargadas directamente a los cauces, provocan gran contaminación de las fuentes de agua (Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014).

Se estima que, en el área metropolitana, anualmente se producen más de 140 millones de metros cúbicos de aguas residuales (Recinos, 2001 citado por Anzueto, 2006).

Información de PLAMAR indica que la contaminación del agua, especialmente por hierro y calcio, ha afectado la viabilidad de varios proyectos (Instituto de Incidencia y Universidad Rafael Landívar, 2005).

A nivel nacional en el año 2000 las enfermedades diarreicas agudas seguían siendo la segunda causa de morbilidad (45.1/1,000) y la segunda causa de mortalidad (3.6/10,000), solo superadas por las infecciones respiratorias o neumonías (Instituto de Incidencia Ambiental y Universidad Rafael Landívar, 2003).

A nivel infantil la mortalidad fue de un 43% del total de muertes por diarrea con un promedio de cinco muertes de niños menores de un año por día (Instituto de Incidencia Ambiental y Universidad Rafael Landívar, 2003).

Lo anterior significa que en 2012, solamente el 4.5% de los municipios trataba las aguas residuales. La Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2006 declaró que enfermedades como la diarrea, los parásitos, la hepatitis y el cólera se transmiten por el consumo humano de aguas contaminadas con heces fecales. Hace cinco años, un estudio dio a conocer que el 98% del agua en Guatemala estaba contaminada con materia fecal (Orantes, 2015).

La Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), estima que el presupuesto por el tratamiento de un metro cúbico de aguas residuales es de US\$0.75 (aproximadamente Q 6.00), lo que consideraría el incremento de la actual tarifa de servicio cinco veces, para que fuera auto-sostenible (Perfil Ambiental de Guatemala, 2004 citado por Anzueto, 2006).

4.2.2. Situación actual de las aguas residuales a nivel nacional

Las aguas residuales son una de las principales causas de que las corrientes hídricas superficiales de Guatemala se encuentren contaminadas; éstas sin tratamiento alguno ocasionan que restos orgánicos e inorgánicos de las diferentes actividades humanas sean depositados en cuerpos de agua (ríos, mares, lagos, lagunas, entre otros), ocasionando la pérdida de la calidad de la misma, y provocando que el acceso al vital líquido sea más complicado.

El más reciente informe ambiental del Gobierno, presentado en el 2011, concluye que la contaminación de los cuerpos de agua es del 90%, y que en su mayoría se debe a aguas residuales domiciliarias, industriales y agroindustriales, y en menor escala por erosión del suelo y fenómenos climáticos como El Niño (Quisque, 2016).

4.2.2.1. Legislación ambiental guatemalteca sobre aguas residuales

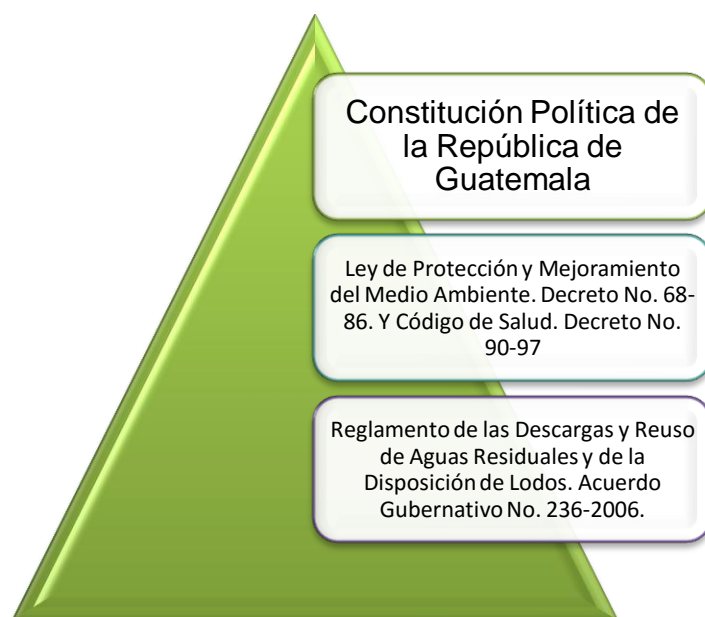


Figura 3. Jerarquía de la legislación ambiental guatemalteca sobre aguas residuales

En materia legislativa guatemalteca existen regulaciones sobre el tratamiento y disposición final de las aguas residuales, consideradas éstas como uno de los principales contaminantes de los recursos hídricos del país.

La **figura 3** demuestra la jerarquía de la legislación guatemalteca sobre las aguas residuales, partiendo principalmente de la Constitución Política de la República de Guatemala como el máximo exponente de legislación a nivel nacional.

En la Constitución Política de la República de Guatemala, se establece en el Artículo 97 sobre medio ambiente y equilibrio ecológico, que *“El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que **prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico**. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el*

aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación”.

A partir de lo descrito en el párrafo anterior, se creó la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto No. 68-86), donde se establece en el Artículo 15 inciso c y d (Capítulo II - del Sistema Hídrico), que *“El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para:*

c) Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos;

d) Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua;”

En el Código de Salud (Decreto No. 90-97), en la Sección III (de la Eliminación de Excretas y Aguas Residuales), establece en el Artículo 92, la dotación de servicios, refiriéndose directamente a que *“las municipalidades, industrias, comercios, entidades agropecuarias, turísticas y otro tipo de establecimientos públicos y privados, deberán dotar o promover la instalación de sistemas adecuados para la eliminación sanitaria de excretas, el tratamiento de aguas residuales y aguas servidas, así como del mantenimiento de dichos sistemas conforme a la presente ley y los reglamentos respectivos”.*

Asimismo, dictamina desde el artículo 93 al 101, que las aguas residuales de cualquier tipo no pueden ser dispuestas en un cuerpo de agua (ríos, lagos, mares) sin previo tratamiento; para lo cual deben construirse dispositivos (plantas de tratamiento), que reduzcan los niveles de contaminación que las aguas servidas provocan al medio físico; y que ninguna construcción nueva para el tratamiento de aguas residuales podrá llevarse a cabo sin el dictamen favorable del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).

Como se menciona en las leyes citadas con anterioridad, respecto a que se emitirán los reglamentos correspondientes que regulen el accionar del control y tratamiento de las aguas residuales de cualquier tipo a nivel nacional, el cinco de mayo del año 2006 entró en vigencia el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006). Sin embargo, debido al incumplimiento de este reglamento fue necesaria la reforma del mismo mediante la emisión del Acuerdo Gubernativo No. 129-2015,

que fue aprobado el 30 de abril del año 2015, en donde se establecen nuevos límites máximos permisibles para los parámetros de aguas residuales municipales y de urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público.

4.2.2.2. Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo No. 236 – 2006 de la República de Guatemala

El Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 fue emitido en el año 2006, como un documento técnico que permite que los entes generadores de aguas residuales (municipalidades, industrias, instalaciones privadas, lotificaciones, entre otros), determinen los contaminantes que deben tratar al momento de la disposición final de éstas en un cuerpo receptor o en otro medio.

En este reglamento en el artículo No. 16, se especifica que los parámetros que deben ser tomados en cuenta para el tratamiento de las aguas residuales son los siguientes:

- a. Temperatura,
- b. Potencial de hidrógeno,
- c. Grasas y aceites,
- d. Materia flotante,
- e. Sólidos suspendidos totales,
- f. Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- g. Demanda química de oxígeno,
- h. Nitrógeno total,
- i. Fósforo total,
- j. Arsénico,
- k. Cadmio,
- l. Cianuro total,
- m. Cobre,
- n. Cromo hexavalente,
- o. Mercurio,
- p. Níquel,
- q. Plomo,
- r. Zinc,
- s. Color y
- t. Coliformes fecales.

4.2.2.3. Reforma al Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 de fecha cinco (5) de mayo del año dos mil seis (2006), Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos

Cuadro 1. Matriz o cuadro de los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y de urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público

			Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil diecisiete	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro	Dos de mayo de dos mil veintinueve
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	300	275	200	100	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	150	70	20	20
Fósforo total	Miligramos por litro	50	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	1	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	2	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1000	750	500	500

Fuente: Artículo uno del Acuerdo Gubernativo No. 129-2015 de la República de Guatemala

El Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 fue reformado mediante la enmienda del Acuerdo Gubernativo No. 129-2015, considerando que el dos de mayo de dos mil quince venció el plazo para el cumplimiento de la etapa dos que se establecía desde el año 2006; por lo tanto, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales otorgó un plazo máximo de dos años (2017) para que las municipalidades de Guatemala brindaran el adecuado tratamiento a sus aguas residuales, de acuerdo al estudio técnico que debe realizarse de éstas en cada localidad.

La reforma o enmienda al artículo 24 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, establece cuatro nuevas etapas de cumplimiento con fechas diferentes, en donde la primera etapa se cumple el dos de mayo de dos mil diecisiete, como se observa en el **cuadro 1**.

Los parámetros descritos en el artículo No. 16 del Acuerdo Gubernativo 236-2006, deben cumplirse con lo indicado en el artículo número uno del Acuerdo Gubernativo No. 129-2015; los cuales se especifican en el **cuadro 1**.

4.2.2.4. Prórroga para el tratamiento de las aguas residuales en Guatemala

En mayo del año 2015, se aprobó a las comunas del país dos años más para contar con sistemas de tratamiento del agua residual (Rodas, 2015).

Según el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015, se establece que todas las municipalidades deberán contar por lo menos con un sistema de tratamiento primario de aguas residuales para el año 2017; esto incluye un estudio técnico de aguas residuales para determinar las otras obras accesorias que deben implementarse a la PTAR.

Según Rodas (2015), Q 100,000 es la infracción máxima que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales puede imponer a las municipalidades que incumplen con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 citado por Rodas (2015), en el 2010 las comunas debieron cumplir con la primera fase, que consistía en contar con un estudio de impacto ambiental y una planta de tratamiento.

Para el año 2015 culminó el plazo para tener finalizada la segunda etapa de lo establecido en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006; que contempla la

formulación de estudios para determinar si los municipios cumplen con los niveles mínimos o máximos de manejo de aguas residuales de origen doméstico, industrial o mixto (Rodas, 2015).

Sin embargo, el 30 de abril de 2015 el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales oficializó la reforma del Artículo 24 (límites máximos permisibles de descarga a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y de urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público), del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 (Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos); esto mediante el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015, titulado “*Reforma al Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 de fecha cinco (5) de mayo del año dos mil seis (2006), Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*”.

Posteriormente, el 2 de junio de 2016 se oficializa la aprobación del Acuerdo Gubernativo No. 110-2016, titulado de igual forma que el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015, documento el cual fue elaborado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

En el Acuerdo Gubernativo No. 110-2016, se establecen nuevas fechas de cumplimiento para cada etapa especificada en el **cuadro 1** (página 15), el cual representa el único cambio significativo en relación a lo establecido en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015. Los parámetros y sus niveles de reducción de contaminantes para cada etapa no presentan cambios.

4.3. Parámetros de referencia para el tratamiento de las aguas residuales en Guatemala

Un parámetro según la Definición de Parámetro (s.f.), es una “...*referencia, tendencia o punto de comparación sobre los que se basa alguna información...*”; esto quiere decir que aplicado a los contaminantes de las aguas residuales, es un punto de comparación sobre los niveles de contaminación de éstas a un cuerpo receptor, con el fin de promover la reducción del impacto ambiental negativo provocado por las mismas.

Estos parámetros se catalogan según su forma de análisis, en físicos, químicos y microbiológicos.

4.3.1. Parámetros físicos

Los parámetros físicos que se analizan de las aguas residuales en Guatemala, son temperatura, materia flotante y los sólidos suspendidos.

La materia flotante y los sólidos suspendidos provocan la pérdida gradual de la pureza del agua (incluyendo la de los cuerpos receptores de las aguas residuales); asimismo, la temperatura es un factor que impacta significativamente a los ecosistemas de los cuerpos receptores de aguas residuales, inhibiendo el ciclo de vida de microorganismos y especies que son parte fundamental en las cadenas tróficas de dichos ecosistemas.

4.3.2. Parámetros químicos

Entre los parámetros químicos que se analizan de las aguas residuales en Guatemala, se encuentran las grasas y aceites, demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO y DQO), nitrógeno total, fósforo total, potencial de hidrógeno (pH), y color.

Estos contaminantes al igual que los mencionados en los parámetros físicos, inhiben y alteran el equilibrio de los ecosistemas de los cuerpos receptores de las aguas residuales; asimismo, la degradación de los recursos naturales directamente influenciados por estos tipos de contaminantes.

Las grasas y aceites en aguas residuales domésticas son producidas principalmente por las actividades culinarias (cocina); éstas normalmente se disponen en el fregadero después de ser utilizadas.

El potencial de hidrógeno (pH) es empleado para calcular los niveles de acidez o alcalinidad que posee el agua; para que los impactos negativos al ecosistema no sean influenciados por este tipo de contaminante, éste debe poseer valores cercanos al neutral, que se establece como un pH de siete.

El nitrógeno y el fósforo son dos componentes que actúan como nutrientes para la vida vegetal de los cuerpos receptores (principalmente cuerpos de agua); sin embargo, en cantidades excesivas, promueven el apareamiento de cantidades exageradas de vida vegetal, lo cual implica una alteración a los ecosistemas acuáticos (en especial los que dependen directamente del medio acuoso); a largo

plazo, estos dos contaminantes provocan la eutrofización de los cuerpos de agua (principalmente los lagos).

4.3.2.1. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que se obtiene para determinar la cantidad de oxígeno disuelto (OD) que se consume del agua por los procesos de descomposición de la materia orgánica presente en la misma (la materia que se oxida o descompone por procesos biológicos); se calculan las variaciones del oxígeno inicial y el oxígeno final (a los cinco días de haber iniciado la medición) a una temperatura de 20°C. La dimensional utilizada para identificar la DBO₅ es “miligramos de oxígeno diatómico consumido en un litro de agua (mg O₂/l)”.

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de materia que se oxida o se descompone del agua directamente por procesos químicos y biológicos; esto quiere decir que la DQO es la sumatoria de la materia de las aguas residuales que se descompone por procesos químicos más los que se descomponen por procesos biológicos (DBO). La dimensional utilizada para identifica la DQO es “miligramos de oxígeno diatómico consumido en un litro de agua (mg O₂/l)”.

DQO = Cantidad de oxígeno que se necesita para descomponer la materia por medio de procesos químicos + DBO.

Este parámetro no se especifica en el **cuadro 1** (página 15); esto se debe a que de los 20 parámetros que se deben analizar según el artículo 16 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, la DQO es empleada para determinar los niveles de materia orgánica e inorgánica que el agua residual de cualquier tipo posee; analizar el tipo de tratamiento que requiere (biológico o químico) para remover esta materia; y, calcular los niveles de contaminación que aportan a los cuerpos receptores (carga contaminante).

La DBO es el principal causante de la eutrofización de los cuerpos receptores de las aguas residuales; esto se debe a que para la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales, se consume el oxígeno disuelto (OD) de los cuerpos receptores, provocando condiciones sépticas a éste e inhibiendo la vida de las especies que dependen del oxígeno disuelto en el agua de los lagos y ríos.

➤ **Relación DQO/DBO**

La relación entre la DQO y la DBO es usada para estimar la biodegradabilidad de un vertido; las categorías según la relación entre ambos parámetros son las siguientes (Lozano – Rivas, 2012):

$$\begin{aligned} \text{DQO/DBO} &\geq 5 \text{ (No biodegradable)} \\ \text{DQO/DBO} &\leq 1.7 \text{ (Muy biodegradable)} \end{aligned}$$

Para ARD (Aguas Residuales Domésticas), esta relación oscila entre 2.0 y 2.5 (Lozano – Rivas, 2012).

Tanto la DQO como la DBO se emplean para determinar la calidad del agua o la carga contaminante de un vertido, para diseñar las unidades de tratamiento biológico y para evaluar y/o controlar la eficiencia de los tratamientos (Lozano – Rivas, 2012).

➤ **Carga contaminante**

La carga contaminante permite calcular cuánto oxígeno diatómico se está consumiendo del agua en un día; para ello, se emplea el caudal del punto de descarga que se esté estudiando y la DBO₅ del mismo punto.

La carga contaminante se expresa en kilogramos de oxígeno diatómico consumido en un día (kg O₂/día).

La ecuación según el Acuerdo Ministerial 105-2008 para calcular la carga contaminante es la siguiente:

$$\text{Carga contaminante} = \text{DBO}_5 \text{ (kg O}_2\text{/m}^3\text{)} * \text{caudal (m}^3\text{/día)}$$

Sin embargo, se establece en el Artículo 19 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, que si la carga contaminante se encuentra en valores menores a los 3,000 kg O₂/día, se tomará en consideración la reducción de la DBO₅ con respecto al “parámetro de calidad asociado”, el cual se especifica en el **cuadro 1** (página 15).

Cuadro 2. Modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno

Etapa	Uno				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil once				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
Etapa	Dos				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil quince				
Duración, años	4				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50
Etapa	Tres				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinte				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
Etapa	Cuatro				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración, años	4				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<4000			4000≤EG<7000	
Reducción porcentual	40			60	

Fuente: Artículo 17 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 de la República de Guatemala

EG = Carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

4.3.2.2. Metales pesados

Los metales pesados son *“elementos de elevado peso atómico, potencialmente tóxicos que se emplean en procesos industriales, tales como el cadmio, el cobre, el plomo, el mercurio y el níquel, que incluso en bajas concentraciones, pueden ser nocivos para las plantas y los animales”* (Metales pesados – definición, s.f.)

Los metales pesados que se analizan de las aguas residuales en Guatemala con el fin de su remoción, son el arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y zinc.

4.3.3. Parámetros microbiológicos

El único parámetro microbiológico que se analiza de las aguas residuales en Guatemala, son las coliformes fecales; éstas provienen de las heces fecales de los seres humanos y animales.

Según Robartaigh (2007), un alto nivel de bacterias coliformes fecales, por lo general indica la presencia en el agua de una gran cantidad de heces y otros materiales orgánicos sin tratar, que pueden tener un serio impacto en el ambiente. La materia orgánica en donde se encuentra la bacteria se descompone aeróbicamente (en presencia de oxígeno), promoviendo el consumo de los niveles de oxígeno y en efecto causar la muerte de peces y otros ejemplares de la vida silvestre que dependen del oxígeno disuelto en el agua.

Las bacterias coliformes fecales también provocan impactos negativos sobre la salud pública. Los volúmenes de agua con altos niveles de esta bacteria pueden contener una amplia gama de parásitos, bacterias y virus causantes de enfermedades, las cuales pueden variar desde condiciones leves como las infecciones agudas del oído, hasta otras más graves que amenazan la vida, tales como la fiebre tifoidea y la hepatitis. Los gusanos parásitos y los patógenos bacterianos tales como *Salmonella*, también se encuentran comúnmente en el agua que da positivo en la prueba que busca altos niveles de bacterias coliformes fecales (Robartaigh, 2007).

4.4. Habitantes equivalentes

Según Lozano – Rivas (2012), considerando que no existen dos industrias iguales y con el fin de ponderar la carga contaminante de un vertido industrial tomando

como referente del aporte del mismo contaminante a nivel doméstico, se ha adoptado el concepto de HABITANTES-EQUIVALENTES (h-eq).

Una vez se tenga estimada la carga contaminante del vertido industrial, el número de habitantes equivalentes se determina dividiendo la carga, por el aporte que hace un habitante, es decir, una persona, por día, para el mismo parámetro.

Habitantes equivalentes (h-eq) = Carga contaminante/Carga por persona

Cuadro 3. Aportes de carga por habitante y por día (valores promedio)

Parámetro	Aporte de 1 habitante equivalente (h-eq)
DBO ₅	60 g/d
DQO	135 g/d
SST	90 g/d
N	10 g/d
P	4 g/d

Fuente: Lozano – Rivas, 2012

4.5. Tipos de tratamiento de aguas residuales

En el **cuadro 4** se describen los cinco tipos de tratamiento que se le pueden aplicar a las aguas residuales, desde el primario que manifiesta una remoción de arenas, sólidos suspendidos y material flotante, hasta el proceso quintinario que son procesos más minuciosos tales como la potabilización del agua, remoción de sales disueltas y desinfección.

Cuadro 4. Tipos de tratamiento de aguas residuales

Tipo de Tratamiento	Objetivo
Primario	Remover arenas, sólidos suspendidos y material flotante
Secundario	Remover material orgánico disuelto biodegradable (DBO ₅) + Desinfección
Terciario	Remover Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo)
Cuaternario	Remover compuestos orgánicos recalcitrantes
Quintinario	Potabilizar de nuevo, remover sales disueltas y desinfectar

Fuente: Ávila y Esquivel, 2014

4.6. Planta de tratamiento de aguas residuales

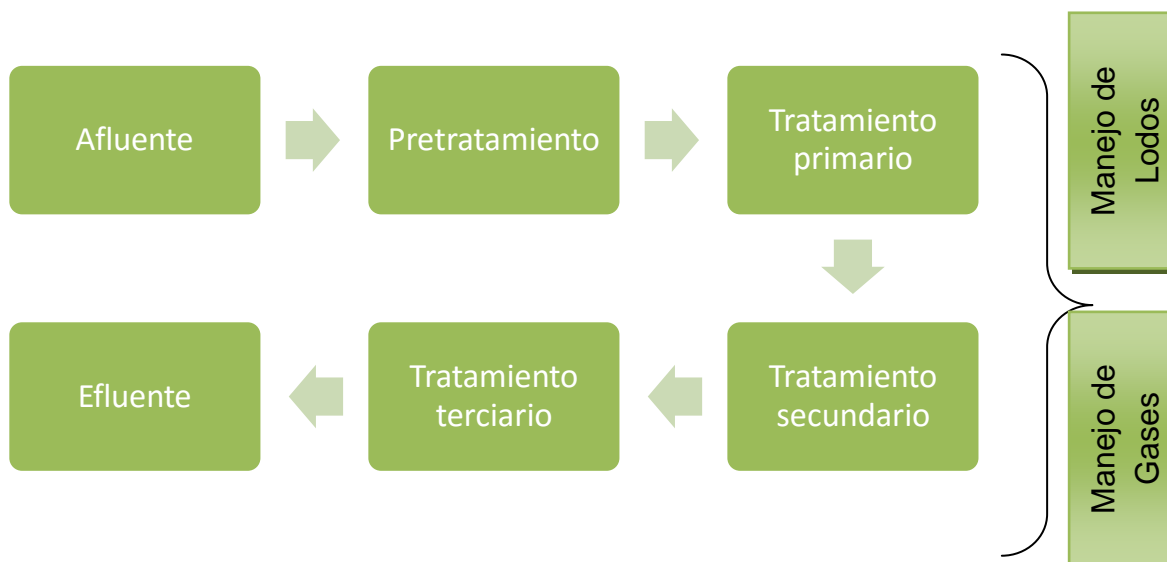


Figura 4. Esquema del tratamiento de las aguas residuales

Fuente: Lozano – Rivas, 2012

La depuración de las aguas residuales, a cualquier escala, tiene como objetivos principales la protección de la salud pública y la conservación de la calidad hidrobiológica de los ecosistemas acuáticos (Lozano – Rivas, 2012).

El diseño de una depuradora dependerá, inicialmente, del origen (tipo) de agua a tratar, de las características fisicoquímicas del efluente y del cumplimiento de la legislación vigente (Lozano – Rivas, 2012).

4.6.1. Pretratamiento

4.6.1.1. Canal de rejas (rejillas)

➤ Clasificación de las rejillas de desbaste

Las rejas pueden clasificarse según (Lozano – Rivas, 2012):

Su limpieza

- Manual.
- Mecánica.

Su separación entre barrotes

- Fina: entre 0.5 y 1.5 cm de separación.
- Media: entre 1.5 y 5.0 cm de separación.
- Gruesa: mayor a 5.0 cm de separación.

Su inclinación

- Verticales: a 90° respecto de la horizontal.
- Inclinadas: entre 60 y 80° respecto de la horizontal.

Según Lozano – Rivas (2012), el tamaño de los barrotes usados en las rejillas, dependerá del tamaño de los materiales que se pretende retener, con el fin de que sean lo suficientemente fuertes para que no se deformen. Para rejillas gruesas se usan barrotes de entre $\frac{1}{2}$ y 1 pulgada (1.3 a 2.5 cm) de diámetro (o de ancho) y para las finas, de entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgada (0.6 a 1.3 cm).

➤ Rejillas de limpieza manual

Se instalan en depuradoras pequeñas y son inclinadas (usualmente a 60° respecto de la horizontal) para facilitar las labores de limpieza del operario, quien retira los sólidos retenidos en la rejilla con ayuda de un rastrillo u otra herramienta similar dentada y los dispone temporalmente en una lámina perforada o canastilla, conocida como depósito escurridor, para eliminar el agua. Posteriormente, estos desechos se llevan a incineración o a un relleno sanitario (Lozano – Rivas, 2012).

Cuadro 5. Criterios de diseño de las rejillas de desbaste

Parámetro	Valor o rango
Velocidad mínima de paso	0.6 m/s (a caudal medio)
Velocidad máxima de paso	1.4 m/s (a caudal punta)
Grado de colmatación estimado entre intervalos de limpieza	30%
Pérdida de carga máxima admisible	15 cm (a caudal medio)

Fuente: Lozano – Rivas, 2012

Según Lozano – Rivas (2012), los criterios de diseño de las rejillas se fundamentan en las velocidades de paso del flujo de aguas residuales, a través de ellas. Esta velocidad no debe ser tan baja que promueva la sedimentación de sólidos en el canal ni tan alta que genere arrastre de sólidos ya retenidos por los barrotes de la reja.

Una vez se tienen definidas las dimensiones del canal de desbaste, el área del canal en la zona de la rejilla se puede calcular con la siguiente expresión (Lozano – Rivas, 2012):

$$A_R = B_c * L / (L + b) * (1 - (G/100))$$

Donde,

A_R : Área útil del canal en la zona de rejilla (m^2).

B_c : Ancho del canal (m).

L : Luz o espacio entre barrotes (m).

b : Ancho de barrotes (m).

G : Grado de colmatación (usualmente se adopta un valor de 30%).

Según Lozano – Rivas (2012), debido a que los barrotes restan área útil del canal, incrementando la velocidad del flujo entre la rejilla, es necesario en ocasiones, incrementar el ancho del canal en la zona donde está ubicada la criba o aumentar la profundidad.

Para estimar el ancho o la profundidad en la zona de la rejilla, se puede emplear la siguiente expresión (Lozano – Rivas, 2012):

$$P = Q * ((b + L) / ((1 - (G/100)) * V_p * L * B_c))$$

Donde,

P : profundidad en la zona de rejillas (m).

Q : caudal de aguas residuales (m^3/s).

V_p : velocidad de paso entre la rejilla (m/s).

Según Lozano – Rivas (2012), el número de barrotes se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$N = (B_R - L) / (b + L)$$

Donde,

N : número de barrotes

B_R : ancho del canal en la zona de rejilla (m).

L : luz o espacio entre barrotes (m).

b : ancho de los barrotes (m).

4.6.1.2. Desarenadores

Según Lozano – Rivas (2012), en el desarenador, como lo indica su nombre, se remueven las partículas de arena y similares, que tienen un peso específico cercano a 2.65 g/cm^3 y tamaños superiores a los 0.15 mm de diámetro (e.g. cáscaras, semillas). Este tipo de partículas presentes, especialmente, en las aguas residuales urbanas y muy rara vez en las de tipo industrial, causan abrasión y daños en las tuberías y en otros equipos de la depuradora.

Cuadro 6. Velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de arenas a una temperatura de 16°C y una eliminación cercana al 90%

Diámetro de partícula	Velocidad de sedimentación
0.15 mm	40 a 50 m/h
0.20 mm	65 a 75 m/h
0.25 mm	85 a 95 m/h
0.30 mm	105 a 120 m/h

Fuente: Moreno López, 2009-2010 citado por Lozano – Rivas, 2012

Según el mismo autor, los desarenadores consisten, simplemente, en un ensanchamiento del canal de pretratamiento, en donde la velocidad del agua disminuye lo necesario para permitir la sedimentación de las partículas discretas, pero no lo suficiente para que se presente asentamiento de la materia orgánica. Su diseño está soportado, entonces, en las velocidades de sedimentación de las partículas que quieren removerse, las cuales son explicadas mediante las fórmulas de Stokes (flujo laminar), Newton (flujo turbulento) y Allen (régimen transitorio).

Según Lozano – Rivas (2012), los desarenadores se diseñan con el caudal punta; los criterios para su cálculo se presentan en el **cuadro 7**.

Cuadro 7. Criterios de diseño de los desarenadores

Parámetro	Valor o rango
Carga superficial	40 a $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}$ (a caudal punta)
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	100 a 300 s (a caudal punta) Más frecuentemente = 180 s.
Velocidad horizontal	0.20 a 0.40 m/s (a caudal punta)
Longitud	10 a 30 veces la altura de la lámina de agua
Altura mínima de la unidad	1.0 m
Altura máxima de la unidad	2.5 m

Fuente: Lozano – Rivas, 2012

Según Lozano – Rivas (2012), la cantidad de arena removida por estas unidades oscila entre 5 y 40 ml por m³ de agua residual tratada para alcantarillados sanitarios, con valores típicos cercanos a los 20 ml/m³.

4.6.2. Tratamiento primario

Esta etapa tiene como objetivo eliminar, por efecto de la gravedad, los sólidos suspendidos de las aguas residuales; se logra bien sea de manera libre, o asistida con químicos que aglomeran las partículas (floculantes) para que ganen peso y decanten con mayor velocidad (Lozano – Rivas, 2012).

4.6.2.1. Fundamentos de la decantación primaria

Algunas partículas presentes en las aguas residuales, por su baja densidad y poco tamaño, no alcanzan a ser removidas en el tratamiento primario. La mayor parte de estas partículas (50 a 70%) corresponden a materia orgánica en suspensión, que debe ser eliminada en tanques con velocidades muy bajas, tiempos largos de retención y flujos laminares que permitan la decantación de estas partículas por efecto de la gravedad (Lozano – Rivas, 2012).

La sedimentación se presenta de diferentes maneras dependiendo de la temperatura, del tipo de partículas presentes, de su concentración en el agua, del tipo de sedimentador y de la zona de la unidad en donde ocurre ese fenómeno (Lozano-Rivas, 2012).

Los decantadores son unidades de gran tamaño, debido a los altos tiempos de retención hidráulica que emplean. Luego del proceso de decantación, queda como producto agua residual clarificada y un lodo o fango primario (Lozano – Rivas, 2012).

Los decantadores que se usan en el tratamiento de las aguas residuales pueden clasificarse en (Lozano – Rivas, 2012):

- Circulares: el agua ingresa ascendiendo por el centro y es recogida en un canal perimetral.
- Rectangulares: el agua ingresa por un extremo y es extraída por el opuesto.

4.6.2.2. Sedimentador primario

Según Lozano – Rivas (2012), estas unidades pueden alcanzar niveles de remoción de entre 25 y 40% para DBO y entre 50 y 70% para SST. Los decantadores primarios se componen de (Lozano – Rivas, 2012):

- Tanque decantador.
- Estructuras de entrada y salida del agua.
- Puente (móvil) del decantador.
- Dispositivos de eliminación y extracción de flotantes.
- Dispositivos de extracción de fangos.

4.6.3. Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de las aguas residuales (TBAR) es entendido como la eliminación de contaminantes mediante la actividad biológica de los microorganismos presentes en los reactores. De esta manera se removerán sustancias orgánicas biodegradables, partículas coloidales y contaminantes disueltos, entre otros, convirtiéndolos en gases y en biomasa (nuevas células), separable por sedimentación (Lozano – Rivas, 2012)

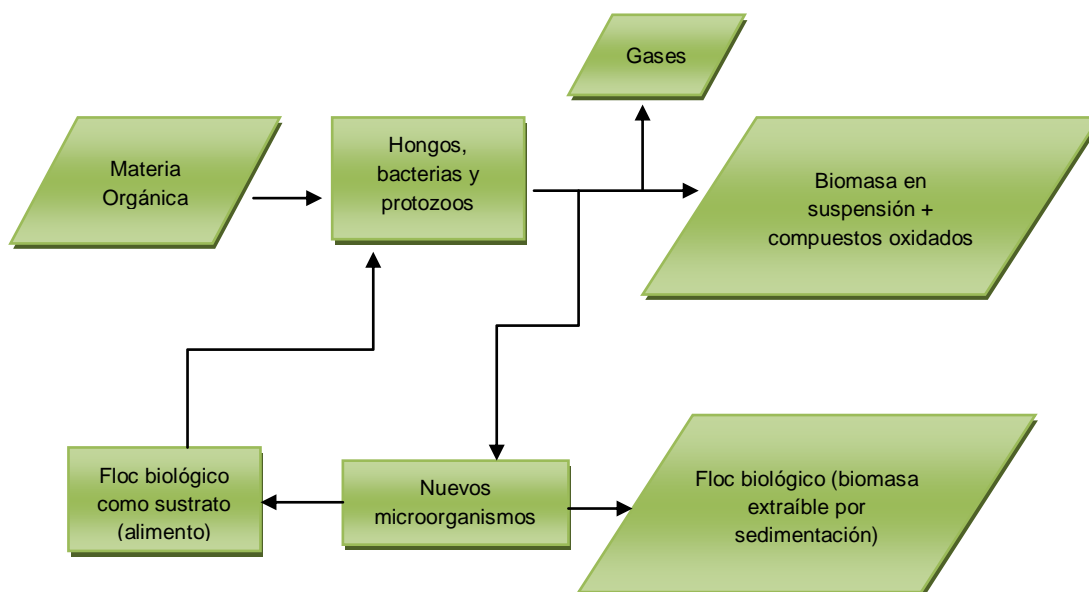


Figura 5. Descomposición biológica de la materia orgánica

Fuente: Lozano – Rivas, 2012

4.6.3.1. Teoría de la aireación

El proceso de aireación consiste en poner el agua en contacto íntimo con el aire. Para los procesos de tratamiento de aguas residuales, el objetivo principal de la aireación es el de proporcionarle a los microorganismos el oxígeno necesario para que realicen sus procesos de transformación y degradación de la materia orgánica contaminante. De igual manera la aireación permite (Lozano – Rivas, 2012):

- Transferir oxígeno disuelto.
- Remover sustancias volátiles.
- Eliminar anhídrido carbónico (CO_2).
- Remover ácido sulfhídrico (H_2S).
- Remover hierro (Fe) y Manganese (Mn).
- Eliminar gas metano (CH_4), gas cloro (Cl_2) y amonio (NH_4).

Los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales requieren concentraciones de oxígeno entre 0.2 y 2.0 mg/l. Los requerimientos de la mezcla son los que determinarán la potencia necesaria de los equipos de aireación empleados (Lozano – Rivas, 2012).

4.6.3.2. Reacciones del tratamiento biológico

En la depuración biológica se presentan múltiples reacciones de tipo bioquímico que transforman la materia orgánica, los nutrientes y otros compuestos (e.g. sulfuros, metales) en elementos más simples y de mayor estabilidad; este proceso se conoce como oxidación biológica y en él, se realiza una conversión de los elementos orgánicos a formas altamente oxidadas (mineralización). Estas reacciones pueden efectuarse mediante un proceso (Lozano – Rivas, 2012):

- Aerobio: en presencia de oxígeno disuelto.
- Anaerobio: en ausencia de oxígeno disuelto y de nitratos.

Asimismo, según Lozano – Rivas (2012), cada uno de estos procesos puede llevarse a cabo con la biomasa (microorganismos):

- Adherida
- En suspensión

En el TBAR, los microorganismos (biomasa) emplean las sustancias suspendidas o disueltas, presentes en las aguas residuales, para incorporarlas a su metabolismo en los procesos de obtención de energía y síntesis celular

(generación de nuevas células). Toda oxidación, incluyendo la mineralización u oxidación biológica, implica una transferencia de electrones entre un donador (sustancia reductora) y un aceptor de electrones (sustancia oxidante). En el TBAR, la materia orgánica es la donante de electrones para los organismos vivos; no obstante, elementos inorgánicos reducidos como amoníaco, sulfuros, hierro ferroso e hidrógeno molecular se comportan, para las bacterias, como donantes de electrones, alimento o fuente de energía (Romero Rojas, 1999 citado por Lozano – Rivas, 2012).

4.6.3.3. Proceso aerobio

Según Lozano – Rivas (2012), se considera un proceso de respiración de oxígeno en el que el oxígeno libre es el único aceptor final de electrones. El carbono se oxida y el oxígeno se reduce. A pesar de la complejidad de este metabolismo microbioal, su representación puede simplificarse de la siguiente manera (**ver figura 6**).

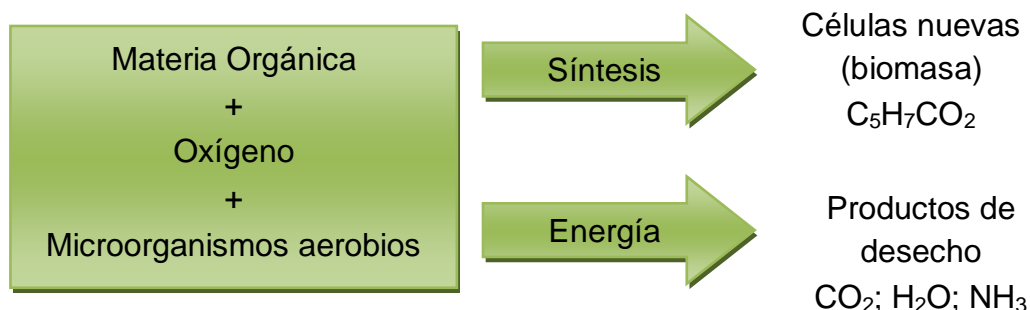


Figura 6. Metabolismo aeróbico de la materia orgánica
Fuente: Lozano – Rivas, 2012

Según Lozano – Rivas (2012), como puede deducirse de la **figura 6**, la molécula $C_5H_7CO_2$ representa las bacterias o la biomasa formada; de igual manera, la degradación biológica aerobia de la materia orgánica, implica la aparición de nitrógeno amoniacal, incrementándolo en el afluente.

4.6.3.4. Microorganismos en el tratamiento biológico

Según Lozano – Rivas (2012), los microorganismos en los reactores, independientemente de si son aerobios o anaerobios, pueden encontrarse de dos formas:

- Biomasa Suspendida (cultivo en suspensión).
- Biomasa Adherida (cultivo fijo).

Según Lozano – Rivas (2012), la biomasa adherida (llamada también cultivo fijo), se presenta cuando los microorganismos se fijan sobre un medio de soporte (e.g. piedras, piezas plásticas, materiales inertes) formando una zooglea o biopelícula (biofilm). La clasificación de los sistemas más usados para el tratamiento biológico de las aguas residuales por el método aerobio, se expone en la **figura 7**.

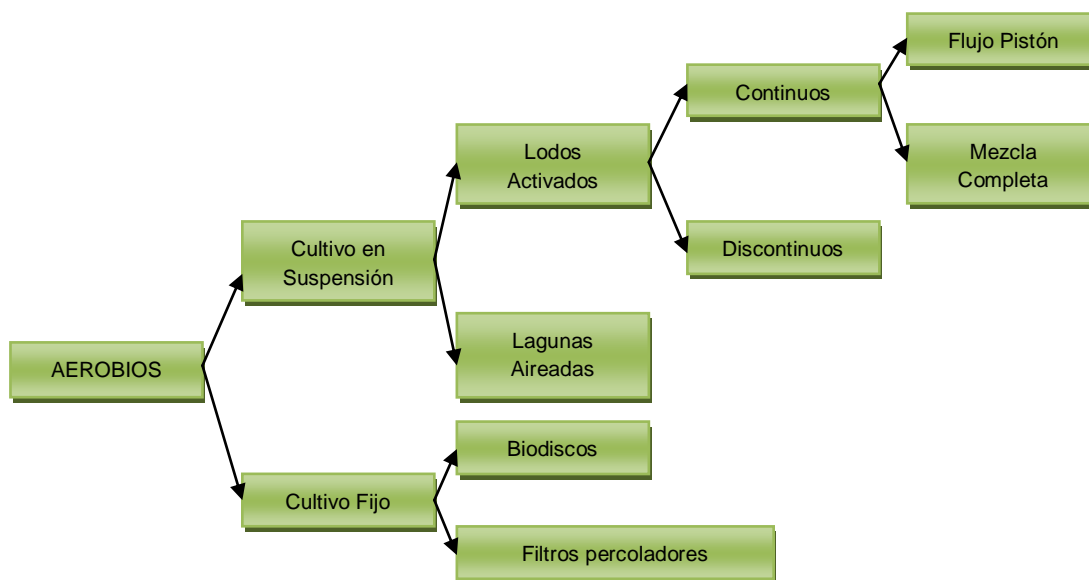


Figura 7. Tipos de reactores para el tratamiento aerobio de aguas residuales

Fuente: Lozano – Rivas, 2012

4.6.3.5. Filtro percolador

También llamados biofiltros, es quizás el tipo de reactor más usado en el medio. A pesar de su nombre (filtro percolador) esta unidad no realiza un proceso de filtración propiamente dicho, sino que se trata de una torre de contacto en la que el agua residual escurre, desde arriba, por un lecho fijo en el que la biomasa se encuentra adherida (Lozano – Rivas, 2012).

Este lecho fijo se compone de piedras o, más recientemente, de piezas plásticas u otro material, sobre las cuales se realiza una aspersion de las aguas residuales, mediante un brazo rotatorio con orificios o boquillas, el cual es movido por un motor o por la misma acción dinámica del agua al golpear con la superficie del lecho. Con el tiempo, se forma una biopelícula (biofilm), llamada también zooglea, sobre este material de soporte; esta biopelícula o lama biológica de microorganismos se encargará de tomar como alimento (adherir y descomponer),

la materia orgánica biodegradable presente en las aguas del afluente (Lozano – Rivas, 2012).

Esta biomasa adherida se encuentra formada, principalmente, por protistas: bacterias (aerobias y facultativas, principalmente), hongos (que predominarán si se trabaja con pH bajos) y protozoos. También se presentan larvas de insectos y caracoles. En la superficie del filtro, por efecto de la luz solar, suelen crecer comunidades de algas que podrían llegar a obstruir parcialmente el filtro (Lozano – Rivas, 2012).

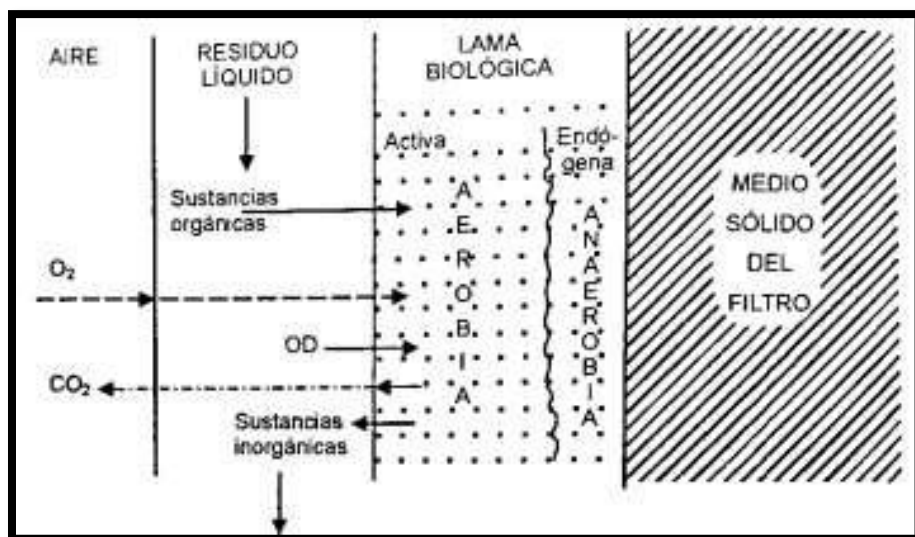


Figura 8. Distribución y actividad de la biomasa en un filtro percolador
Fuente: Romero Rojas, 1999 citado por Lozano – Rivas, 2012

En la medida en que avanza la operación del filtro, la biopelícula aumenta gradualmente su espesor sobre la superficie de las rocas o piezas plásticas. Esto causa que la materia orgánica que se absorbe, sea empleada por los microorganismos de la parte más superficial “capa externa”, dejando a los de la parte interna con menos alimento y oxígeno. En consecuencia, esta “capa interna” entra en fase de crecimiento endógeno provocando pérdida de adherencia al medio de soporte, hasta que termina por desprenderse. Todo lo anterior provoca un ciclo de autolimpieza en el filtro percolador que evitará su colmatación por engrosamiento de la biomasa adherida (Lozano – Rivas, 2012).

Los filtros percoladores pueden clasificarse según su carga hidráulica y orgánica en:

- Baja tasa
- Alta tasa

Los criterios de diseño según el tipo de operación y medio de contacto de los filtros percoladores, se expone en la **cuadro 8** (Lozano – Rivas, 2012).

Cuadro 8. Criterios de diseño para filtros percoladores, según tipo de operación y medio de contacto

ELEMENTO	CARGA BAJA	CARGA ALTA	CARGA ALTA
Medio filtrante	Piedra	Piedra	Plástico
Tamaño (cm)	2.5 a 13	2.5 a 13	Varía
Superficie específica (m^2/m^3)	60 a 70	60 a 70	80 a 200
Constante “n” del material	1.5 a 3.5	1.5 a 3.5	0.4 a 0.6 (según fabricante)
Constante de tratabilidad “K”	Agua residual doméstica sedimentada = $2.21 (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-0.5}$ Agua residual industrial = $0.25 \text{ a } 2.51 (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-0.5}$		
Espacio vacío (%)	40 a 60	40 a 60	94 a 97
Peso específico (kg/m^3)	800 a 1,450	800 a 1,450	30 a 100
Carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	0.05 a 0.15	0.4 a 1.6	0.4 a 3.0
Carga orgánica ($\text{kg DBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	0.1 a 0.4	0.5 a 0.6	0.3 a 1.8
Carga orgánica para nitrificación ($\text{kg DBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	0.1 a 0.16	0.1 a 0.25	0.16-0.4
Profundidad (m)	2.0 a 2.5	2.0 a 2.5	3 a 10
Relación de recirculación	0	0.5 a 2.0	0.5 a 4.0
Arrastre de sólidos	Intermitente	Continuo	Continuo
Eficiencia de remoción de DBO_5 (%)	80 a 85	50 a 70	50 a 85
Moscas en el filtro	Muchas	Pocas	Muy pocas

Fuente: Lozano – Rivas, 2012

V. MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1. Materiales

Cuadro 9. Equipo empleado en la ejecución de la evaluación y propuesta de tratamiento de las aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Cinta métrica con longitud de cinco metros; marca VICTORY	Unidad	1	Q 15.00	Q 15.00
Computadora tipo Laptop marca <i>Toshiba</i> ; serial No. XD081670C	Unidad	1	Q 3,500.00	Q 3,500.00
Transporte extraurbano	Viaje	30	Q 7.00	Q 210.00
Dispositivo GPS; marca <i>Garmin ETREX 20X</i> ; Número de referencia: 010-01508-05	Unidad	1	Q 1,200.00	Q 1,200.00
Cámara fotográfica; Marca Sony – 8X; DSC – W730/SC EM8	Unidad	1	Q 1,500.00	Q 1,500.00
Calculadora científica marca CASIO.	Unidad	1	Q 100.00	Q 100.00
Botas de hule	Par	1	Q 80.00	Q 80.00
Bote de plástico con capacidad para 20.9022 litros. Bote de plástico con capacidad para 22.36 litros.	Unidad	2	Q 20.00	Q 40.00
Guantes de látex blancos esterilizados	Par	10	Q 1.50	Q 15.00
Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa	Unidad - servicio	1	Q 3,305.00	Q 3,305.00
Celular con cronómetro integrado; modelo AZUMI L2Z Blanco; Imei: 356875058925640.	Unidad	1	Q 150.00	Q 150.00
Capas vectoriales y ráster (hojas cartográficas 2010 y ORTOFOTOS 2006); Quantum GIS 2.0.1.	Unidad	1	Q 300.00	Q 300.00
Mano de obra	Unidad	1	Q 10,000.00	Q 10,000.00
TOTAL				Q 20,415.00

5.2. Metodología

5.2.1. Identificación del sistema de recolección y descarga de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

- 5.2.1.1. Mediante consultas realizadas a los líderes comunitarios de la aldea San Antonio Nejapa y recorridos de campo, se identificaron los puntos de descarga de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa; asimismo, las zonas de esta comunidad donde las viviendas no cuentan con el servicio del alcantarillado público.
- 5.2.1.2. Los puntos de descarga de aguas residuales fueron georreferenciados utilizando un dispositivo GPS; asimismo, los terrenos donde podrían realizarse las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- 5.2.1.3. Utilizando un mapa impreso de la aldea San Antonio Nejapa, se realizaron recorridos en esta comunidad para señalar las zonas sin alcantarillado público (donde las viviendas vierten sus aguas residuales de la pileta sobre la calle).
- 5.2.1.4. Los datos se registraron, analizaron e interpretaron a través de discusiones (en los resultados), y en mapas que se elaboraron en Quantum GIS (software de Sistemas de Información Geográfica).

5.2.2. Caracterización de los niveles de contaminación de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

5.2.2.1. Identificación del punto y la hora para la toma de la muestra de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

1. Al contar con la identificación de los puntos de descarga de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa; se midió el caudal de las mismas durante cada 30 minutos, con una temporalidad que osciló entre las 9:00 y 15:00 horas (13 mediciones de caudal en cada punto).
2. Como se identificaron dos puntos de descarga de aguas residuales urbanas para la aldea San Antonio Nejapa; uno de éstos, se denominó “punto de descarga A”, el cual utiliza como cuerpo receptor la Quebrada Chajiyá o río

Seco; el otro punto fue nombrado “punto de descarga B”, que vierte sus aguas residuales a la corriente hídrica superficial del río San Antonio.

a. Medición del caudal del punto de descarga A

1. Para medir el caudal de las aguas residuales del punto de descarga A, se empleó el método “volumétrico”; el cual consistió en colocar un recipiente (cubeta) de volumen conocido en el punto de descarga de aguas residuales, y se registró el tiempo (en segundos) que ésta tardó en llenarse completamente.
2. Para cada medición (cada 30 minutos) se emplearon cinco repeticiones, con el fin de obtener un promedio del tiempo y reducir el rango de error de la medición. La ecuación que se empleó para calcular el caudal fue la siguiente:

Ecuación para calcular el caudal:

$$\text{Caudal (l/s)} = \frac{\text{VolC}}{T_p}$$

Fuente: Documentos de Depósito de la FAO, s.f.

Donde,

- VolC = Volumen (capacidad) de la cubeta (en litros).
- T_p = Tiempo promedio (en segundos).

Ecuación para calcular el tiempo promedio:

$$T_p (s) = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5}$$

Donde,

- $T_p (s)$ = Tiempo promedio (en segundos) en llenarse la cubeta.
- T_x = Tiempo registrado (en segundos) de la medición X (para esta investigación se realizaron cinco repeticiones de medición cada 30 minutos; por lo tanto, correspondieron cinco tiempos registrados a los que hubo que promediar).

b. Medición del punto de descarga B

1. Para la medición de las aguas residuales del punto de descarga B, se utilizó el método del “flotador”, considerando que el punto de salida se encuentra al nivel de la superficie del suelo; por lo tanto, representa un grado mayor de dificultad utilizar el método “volumétrico” (al colocar la cubeta ésta queda parcialmente inclinada y la medición no sería aceptablemente confiable).
2. El método del “flotador” para medir el caudal de las aguas residuales del punto B, se realizó utilizando un objeto menos denso ($< 1 \text{ g/cm}^3$) que el agua residual (para que éste flotara sobre la superficie de la misma); asimismo, un cronómetro para la medición del tiempo en segundos.
3. Se midió el diámetro del tubo de salida de las aguas residuales del punto de descarga B, que equivalió a 16 cm (aproximadamente seis pulgadas de diámetro). El agua residual ocupó la mitad (50%) de la sección transversal del tubo de salida.
4. Desde el punto de salida de las aguas residuales del tubo, se midió una distancia horizontal de 40 cm (0.40 m), donde se colocó una marca de referencia.
5. A las 9:00 horas se iniciaron las mediciones. Se colocó el objeto flotador sobre el agua en el punto de salida del tubo y se tomó el tiempo (en segundos) que éste tardó en llegar al punto de la marca de referencia (hasta la distancia horizontal de los 40 cm). Para el caso de este punto de descarga se realizaron 10 mediciones de tiempo.
6. Al finalizar las mediciones cada 30 minutos desde las 9:00 a las 15:00 horas, se calcularon los caudales de salida de las aguas residuales utilizando las siguientes ecuaciones:

Ecuación para calcular el caudal:

$$\text{Caudal (l/s)} = \text{Velocidad del agua} * \text{Área transversal del agua} * 1 \text{ l}/1000 \text{ cm}^3 * 0.85 \text{ (factor de corrección)}$$

Fuente: Chamorro de Rodríguez, 2011.

Ecuación para calcular la velocidad del agua:

$$\text{Velocidad del agua (cm/s)} = \frac{40 \text{ cm}}{T_p \text{ (s)}}$$

Ecuación para calcular el tiempo promedio:

$$T_p \text{ (s)} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10}}{10}$$

Donde,

- $T_p \text{ (s)}$ = Tiempo promedio (en segundos) que tarda en recorrer el objeto flotador los 40 centímetros horizontales sobre la superficie del agua residual.
- T_x = Tiempo registrado (en segundos) de la medición X (para esta investigación se realizaron 10 repeticiones de medición, por lo tanto, correspondieron 10 tiempos registrados a los que hubo que promediar).

Ecuación para calcular el área transversal del agua:

$$\text{Área transversal del agua} = \pi * r^2 * 0.5$$

Donde,

- π = Constante del valor de Pi , que equivale a un aproximado de 3.141592654.
 - r^2 = Radio del tubo de salida de aguas residuales del punto de descarga B elevado al cuadrado (en centímetros).
 - La constante de 0.5 al final de la ecuación, corresponde a que el agua residual de salida ocupa solamente el 50% del área transversal del tubo.
7. Las mediciones de los caudales de aguas residuales del punto descarga A y B, se realizaron dos veces para cada punto; esto quiere decir que se emplearon cuatro días para la medición de caudales de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa; donde en efecto se obtuvieron caudales a cada 30 minutos durante una temporalidad de 9:00 a 15:00 horas, que al finalizar se promediaron para obtener un caudal promedio por medición, y un caudal promedio general que se utilizó como media.

8. Se determinó a partir de los caudales de las aguas residuales urbanas de San Antonio Nejapa, que el punto idóneo para la toma de muestras correspondió al punto de descarga “B”, por contar con un caudal mayor que el punto de descarga “A”; asimismo, la hora con mayor caudal en el punto de descarga “B” se calculó entre las 10:30 y 11:30; por ello, la muestra se tomó a las 11:00 horas del día viernes 10 de junio de 2016.

5.2.2.2. Determinación de las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales urbanas de la Aldea San Antonio Nejapa

a. Toma y análisis de las muestras de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

1. La toma de la muestra de aguas residuales de tipo ordinaria de la aldea San Antonio Nejapa, se realizó con la colaboración de un técnico especializado del laboratorio ECOQUIMSA, quien se encargó de proporcionar los instrumentos y recipientes necesarios para este procedimiento; en términos generales la muestra correspondió a una simple, tomada aproximadamente a las 11:00 horas del día viernes 10 de junio de 2016.
2. Al finalizar la toma de muestras, se transportaron debidamente refrigeradas a las instalaciones del laboratorio ECOQUIMSA, para sus respectivos análisis y entrega de resultados 18 días después de la adquisición de las muestras en campo.
3. Para la toma de las muestras se emplearon guantes y un recipiente de un litro con su respectivo sujetador para facilitar la adquisición de las aguas residuales, el cual se sometió a tres lavados con el agua residual (con el fin de evitar la contaminación de la muestra con otro tipo de contaminante ajena a la misma). Se utilizaron los siguientes procedimientos para obtener cada muestra:

➤ Toma de muestra para el análisis fisicoquímico

1. Se utilizó un recipiente plástico de medio (1/2) galón para almacenar la muestra de aguas residuales para el análisis de los parámetros físicos y químicos.

2. Se emplearon guantes para la protección de las manos ante los gérmenes y cualquier otro contaminante disponible en las aguas residuales donde se tomó la muestra.
3. Se tomó la muestra colocando el recipiente con su sujetador correspondiente en el punto de descarga B de aguas residuales; posteriormente, se vació el contenido del recipiente de un litro al recipiente de medio galón para almacenar y preservar la muestra.
4. Se observó que el agua residual almacenada en el recipiente no manifestara presencia de burbujas de aire.
5. Los recipientes con las muestras de aguas residuales fueron dispuestos dentro de la hielera, para su conservación y transporte al laboratorio respectivo.

➤ **Toma de muestra para el análisis de grasas y aceites**

1. Se utilizó un recipiente de vidrio de color ámbar con capacidad de almacenaje de un litro.
2. Se tomó la muestra colocando el recipiente con su sujetador correspondiente en el punto de descarga B de aguas residuales; posteriormente, se vació el contenido del recipiente de un litro al recipiente de vidrio color ámbar para almacenar y preservar la muestra.
3. Para preservar la muestra se aplicaron cinco goteros de cloruro de hidrógeno (HCl), y se colocó la misma dentro de la hielera.

➤ **Toma de muestras para el análisis de cianuro**

1. Se utilizó un recipiente plástico esterilizado de 125 ml para la toma de la muestra de aguas residuales empleada en el análisis de presencia de cianuro.
2. Se tomó la muestra colocando el recipiente con su sujetador correspondiente en el punto de descarga B de aguas residuales; posteriormente, se vació el contenido del recipiente de un litro al recipiente de plástico esterilizado de 125 ml para almacenar y preservar la muestra.

3. Para preservar la muestra se añadieron cinco gotas de hidróxido de sodio (NaOH), y se colocó la misma dentro de la hielera.

➤ **Toma de muestra para el análisis de metales pesados**

1. Se utilizó el recipiente plástico con capacidad de 1,000 ml (1 litro), para almacenar y transportar la muestra de aguas residuales empleada en la medición de los análisis de presencia de metales pesados.
2. Se tomó la muestra colocando el recipiente con su sujetador correspondiente en el punto de descarga B de aguas residuales; posteriormente, se vació el contenido del recipiente de un litro al recipiente de plástico correspondiente para almacenar y preservar la muestra.
3. Para preservar la muestra se añadieron dos goteros de ácido nítrico (HNO₃). Asimismo, se dispuso la muestra dentro de la hielera.

➤ **Toma de la muestra para el análisis bacteriológico (coliformes fecales)**

1. En la toma, almacenaje y transporte de la muestra para el análisis bacteriológico – microbiológico, se empleó una bolsa plástica Whirl Pack esterilizada con capacidad para 100 ml.
2. Se tomó la muestra colocando la bolsa Whirl Pack en el efluente del punto de descarga B de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa.
3. Para preservar la muestra, la bolsa se selló y se dispuso dentro de la hielera.

➤ **Temperatura y potencial de hidrógeno (pH) de las aguas residuales**

1. Utilizando un recipiente de 1,000 ml se tomó una muestra de aguas residuales, donde se colocó un instrumento para medir la temperatura y el pH de las mismas.

2. Los valores de la medición de la temperatura y el pH se registraron en una base de datos; posteriormente, se empleó un termómetro de ambiente para estimar la temperatura del cuerpo receptor (el río San Antonio).

5.2.3. Establecimiento del grado de cumplimiento de la legislación guatemalteca vigente para las descargas de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

5.2.3.1. Análisis de los resultados de la caracterización de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

1. En base a los resultados obtenidos de los análisis de las muestras de aguas residuales urbanas, vertidas desde el punto de descarga B de la aldea San Antonio Nejapa, se compararon con lo estipulado en los parámetros descritos en el cuadro o la matriz del artículo uno de la reforma al Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 129-2015).
2. Asimismo, se procedió a calcular la carga contaminante de las aguas residuales y si éstas poseen un grado mayor de materia orgánica (DBO₅) en relación a la materia inorgánica (DQO) o viceversa.

➤ Cálculo de la carga contaminante de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

1. Para el cálculo de la carga contaminante se empleó el caudal promedio general del punto de descarga B de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa, el cual corresponde a un valor de 4.2957 l/s; asimismo, el valor de la DBO₅ de las aguas residuales del mismo punto, que equivale a 540 mg O₂/l. A partir de estos dos datos se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Carga contaminante} = \left(\text{DBO}_5 * \text{caudal promedio} * \frac{1 \text{ kg}}{1,000,000 \text{ mg}} * \frac{86,400 \text{ s}}{\text{día}} \right)$$

Fuente: Acuerdo Ministerial No. 105-2008

➤ **Cálculo de la relación de la DQO y DBO₅**

1. Para el cálculo de la relación de la DQO y DBO₅, se dividió el valor de la DQO entre el valor de la DBO₅.
2. Este valor se catalogó de acuerdo a las categorías según Lozano – Rivas (2012), que establece lo siguiente:
 - a. $DQO/DBO \geq 5$ (No biodegradable).
 - b. $DQO/DBO \leq 1.7$ (Muy biodegradable).

5.2.4. Propuesta del modelo de gestión integral de las aguas residuales de la Aldea San Antonio Nejapa

- 5.2.4.1. Para la propuesta del modelo de gestión integral de la aldea San Antonio Nejapa, se determinaron los parámetros de las aguas residuales urbanas de esta comunidad (según los resultados de laboratorio), que no cumplen con lo establecido en la reforma del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 129-2015); a partir de ello, se propusieron las obras accesorias de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- 5.2.4.2. Las obras accesorias de las PTAR se dibujaron utilizando AutoCAD 2015, Google Sketchup y Artlantis, de acuerdo a los cálculos de diseño especificados por Lozano – Rivas (2012) en el documento “*diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*”, tomando para el diseño un caudal punta proyectado a 30 años (con una tasa de crecimiento poblacional de 2.26%, que se establece para el municipio Acatenango).
- 5.2.4.3. Asimismo, se propuso en términos generales una solución al tratamiento de las aguas residuales de las viviendas que no se encuentran conectadas al alcantarillado público.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Identificación del sistema de recolección y descarga de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

La aldea San Antonio Nejapa cuenta actualmente con dos puntos de descarga de aguas residuales; uno de éstos descarga a la Quebrada Chajiyá o Río Seco (punto de descarga A – se observa en la **figura 9** en la fotografía de arriba), y el otro al río San Antonio (punto de descarga B – se observa en la **figura 9** en la fotografía de abajo); en ambos puntos de descarga no existe tratamiento de las aguas residuales; mientras que los cálculos efectuados para esta investigación, demuestran que el caudal promedio total (la sumatoria de los caudales de descarga de aguas residuales de los dos puntos identificados), equivale a un aproximado de 7.94 litros/segundo.



Figura 9. Ilustración de los puntos de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa

Según los cálculos efectuados en esta investigación, el 45.91% (3.6456 l/s) corresponden al caudal promedio de la descarga de aguas residuales efectuadas en el punto A (cuerpo receptor: Quebrada Chajiyá o río Seco); mientras que el 54.09% (4.2957 l/s), a las aguas residuales descargadas desde el punto B (cuerpo receptor: río San Antonio). Estos datos se observan gráficamente en la **figura 10**.

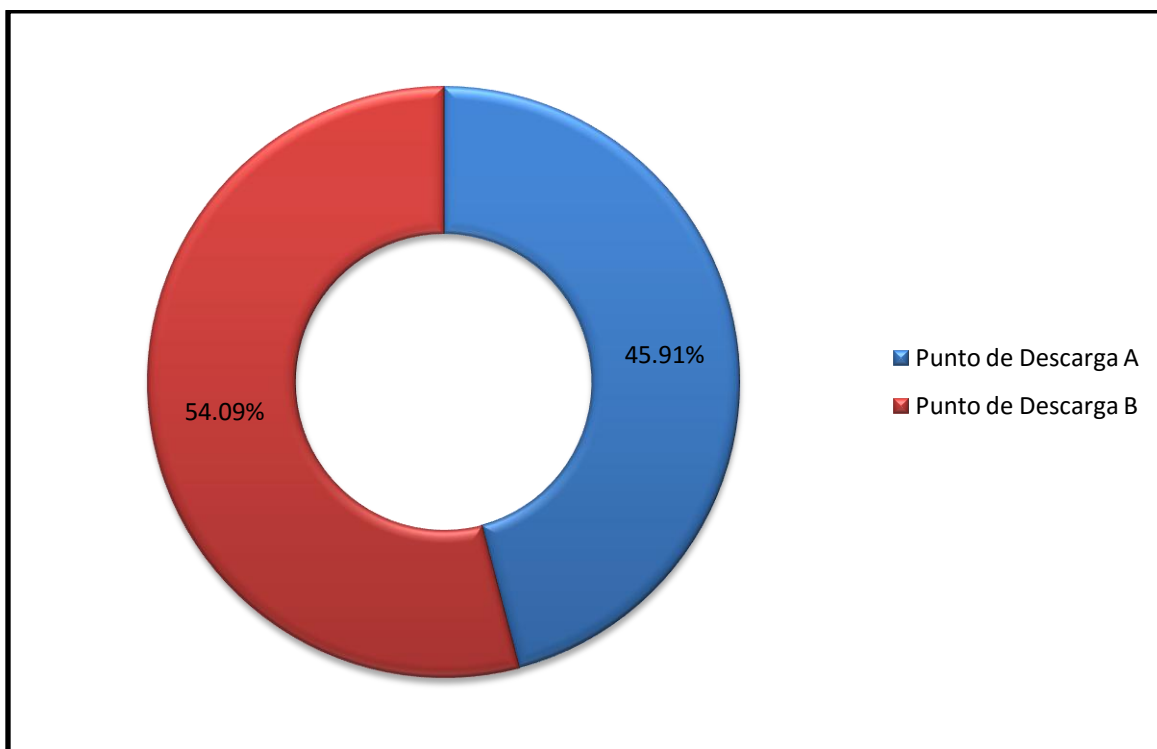


Figura 10. Representatividad en porcentajes de la descarga de aguas residuales urbanas (ARU) en la aldea San Antonio Nejapa

Esta cantidad de aguas residuales son las que por no contar con tratamiento, están contribuyendo a la contaminación del río San Antonio y Quebrada Chajiyá o río Seco.

Según Panjoj (2016), la mayoría de los pobladores de la aldea poseen drenajes (97%).

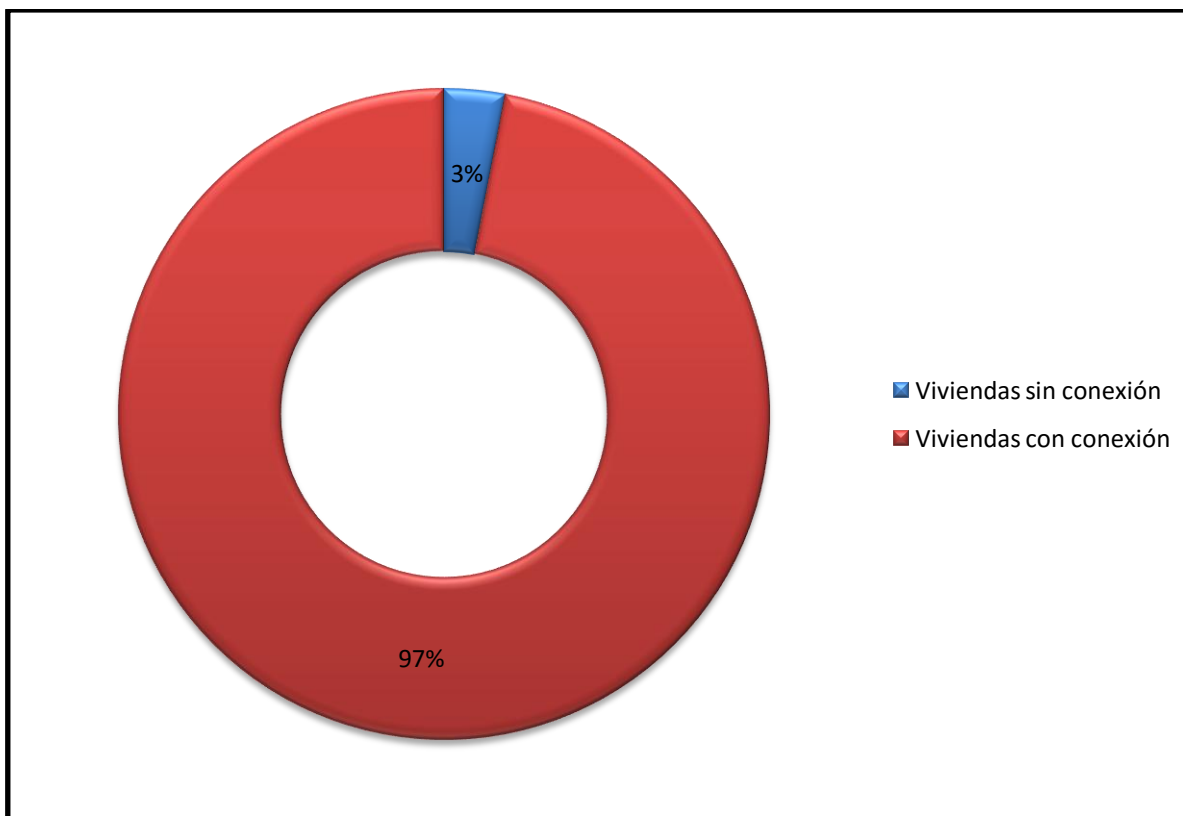


Figura 11. Porcentaje de las viviendas sin y con conexión al alcantarillado público en la aldea San Antonio Nejapa

Hasta la fecha el 3% de habitantes no cuentan con este servicio; por lo tanto, las aguas residuales de las piletas y duchas de estas viviendas, vierten sus aguas residuales a las calles de la comunidad (**ver figura 12**); los sanitarios en estas viviendas corresponden a sistemas sin drenajes (letrinas – pozos ciegos).



Figura 12. Escurrimiento de aguas residuales domésticas en las calles de la aldea San Antonio Nejapa

Considerando el porcentaje de representatividad de las aguas residuales ordinarias (domésticas) según su disposición final, se obtienen los datos registrados en el **cuadro 10**.

Cuadro 10. Representatividad de las aguas residuales ordinarias de la aldea San Antonio Nejapa según su disposición final

Punto de descarga	Representatividad
Punto de descarga A	44.53%
Punto de descarga B	52.47%
Calles de San Antonio Nejapa (viviendas sin conexión – aguas sin excretas)	3.00%
Total	100.00%

Nota: Elaborado en base a datos obtenidos de mediciones en campo

Los datos del **cuadro 10** indican a detalle los porcentajes que representan las aguas residuales de tipo ordinaria, de cada una de las formas de disposición final en la aldea; esto quiere decir, que el punto de descarga A (cuerpo receptor:

Quebrada Chajiyá o río Seco), representa el 44.53% (equivalente al 45.91% del 97% de aguas residuales que son dispuestas en el alcantarillado público de San Antonio Nejapa), del total de aguas residuales que se producen en esta aldea. Por lo tanto, en la gráfica de la **figura 13**, se observa que el punto de descarga B (cuerpo receptor: río San Antonio), representa más de la mitad (52.47%) del total de aguas residuales de origen doméstico en San Antonio Nejapa.

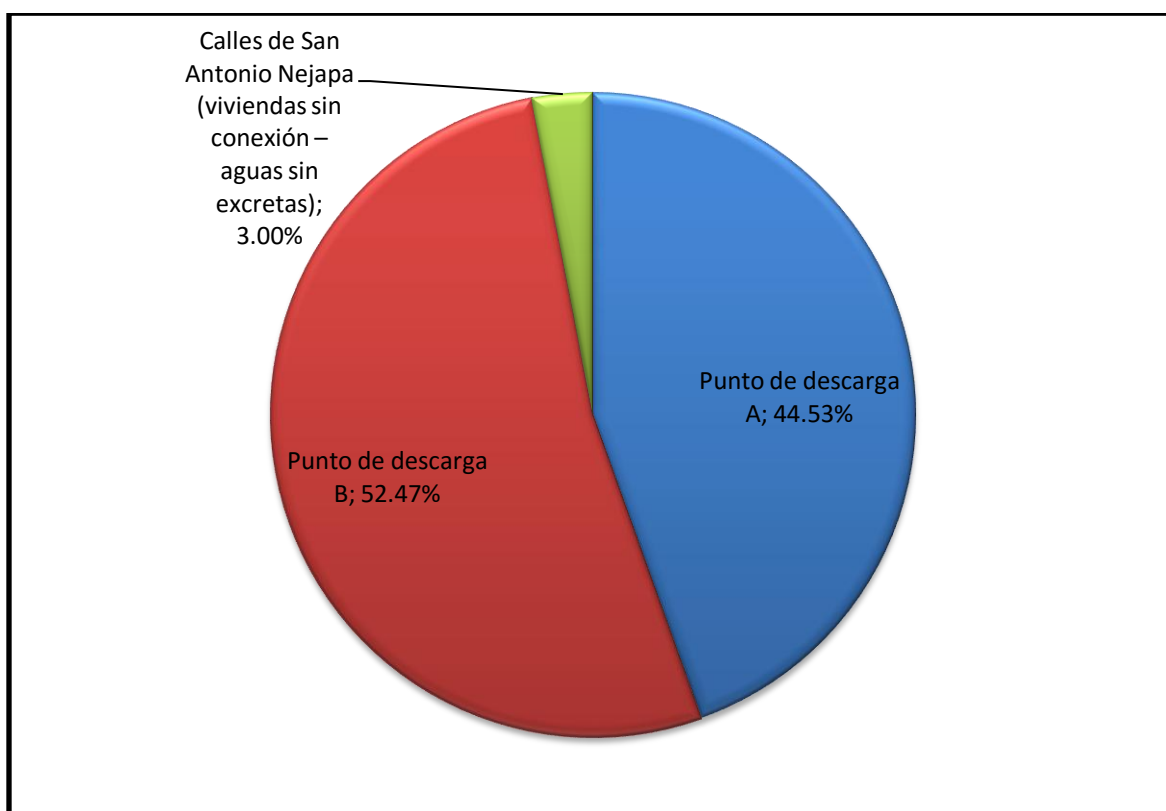


Figura 13. Porcentajes de representatividad de la descarga de aguas residuales de tipo ordinaria en San Antonio Nejapa

Según los datos descritos con anterioridad, se observa que con el tratamiento de las aguas residuales vertidas a través del punto de descarga B identificado para San Antonio Nejapa, se estarían descontaminando más de la mitad de aguas residuales de tipo ordinaria que se producen en esta comunidad.

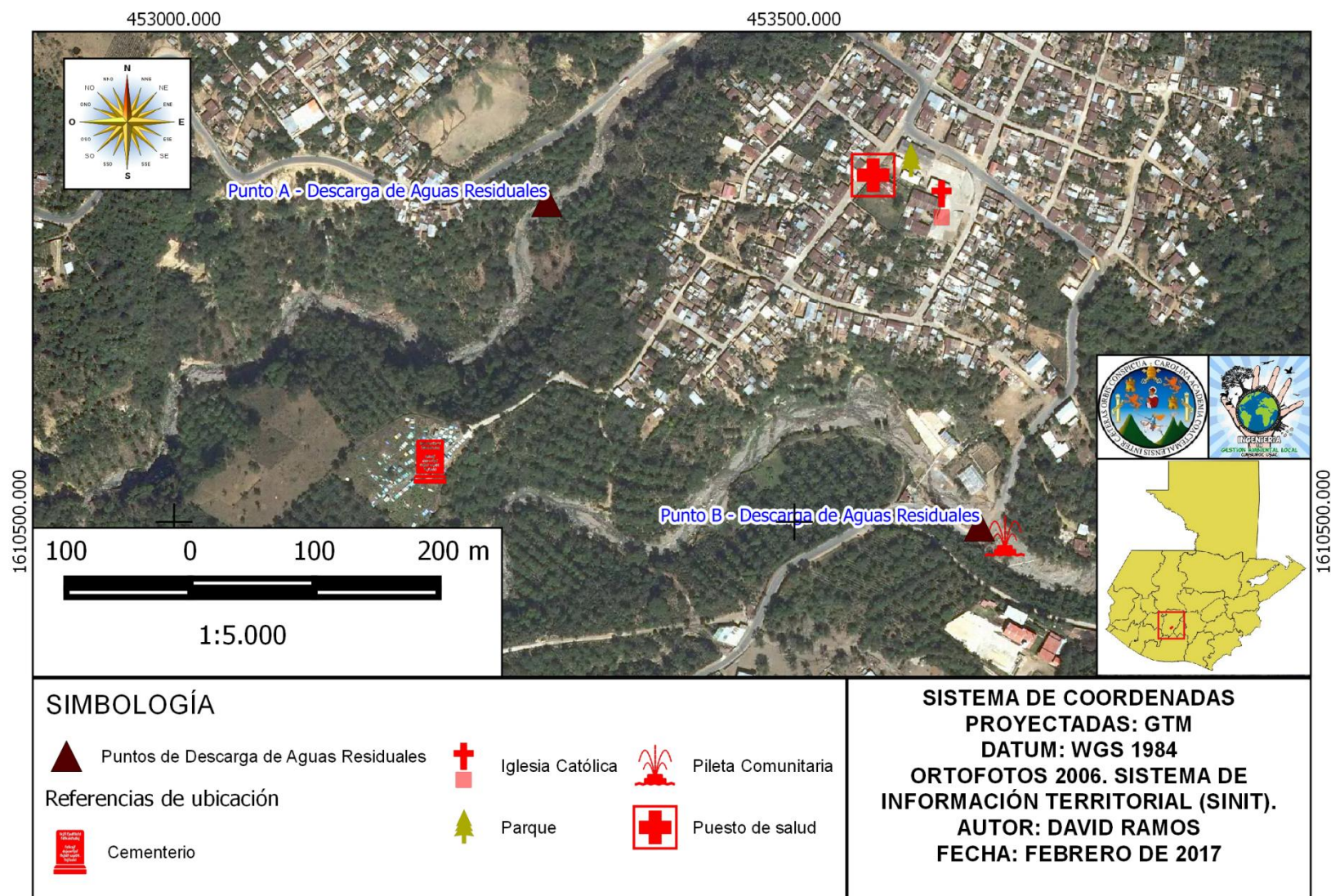


Figura 14. Puntos de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa

6.1.1. Caudales de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa

Las mediciones de los caudales de descarga de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa, se realizaron con el objetivo de emplear estos datos en el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales; asimismo, para fijar la hora adecuada para la toma de muestras de las mismas (en la hora del caudal promedio máximo).

Estos datos de mediciones de caudales de descarga de aguas residuales, se observan en el **cuadro 11 y 12**; las mediciones de caudales se realizaron a cada 30 minutos, dando inicio a las 9:00 horas y finalizando las mediciones a las 15:00 horas (3:00 p.m.).

Se realizaron dos repeticiones de medición aplicadas a ambos puntos de descarga, donde posteriormente se obtuvo un caudal promedio para cada hora, y la media o caudal promedio total.

Cuadro 11. Caudales de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) vertidas desde el punto "A" de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango

Hora	Primera medición (l/s)	Segunda medición (l/s)	Caudal promedio (l/s)
9:00	3.6511	3.5205	3.5858
9:30	4.0270	3.8964	3.9617
10:00	4.2983	3.9858	4.1420
10:30	3.2631	4.1005	3.6818
11:00	3.2919	4.1821	3.7370
11:30	3.5160	4.0705	3.7932
12:00	5.7188	3.1190	4.4189
12:30	2.8537	3.4074	3.1305
13:00	3.0831	3.0156	3.0493
13:30	2.7298	3.4813	3.1056
14:00	3.4054	3.4219	3.4137
14:30	3.5260	3.8325	3.6793
15:00	3.4411	3.9469	3.6940

Nota: Elaborado en base a datos obtenidos de mediciones en campo

Cuadro 12. Caudales de descarga de aguas residuales urbanas (ARU) vertidas desde el punto "B" de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango

Hora	Primera medición (l/s)	Segunda medición (l/s)	Caudal promedio (l/s)
9:00	3.7886	4.9537	4.3712
9:30	3.9745	4.6823	4.3284
10:00	4.8829	4.8829	4.8829
10:30	5.1016	5.3407	5.2211
11:00	4.3821	5.4255	4.9038
11:30	3.7153	5.9966	4.8559
12:00	3.0248	4.5574	3.7911
12:30	2.4242	5.0265	3.7253
13:00	3.1358	4.9537	4.0448
13:30	3.4878	4.9537	4.2208
14:00	3.7561	4.4390	4.0976
14:30	3.6753	4.1181	3.8967
15:00	2.9214	4.0865	3.5040

Nota: Elaborado en base a datos obtenidos de mediciones en campo

El promedio general del caudal de descarga de aguas residuales del punto A, equivale a 3.6456 litros/segundo; mientras que el mismo promedio para el caso del punto de descarga B, equivale a 4.2957 litros/segundo.

En la **figura 15 y 17** (página 53 y 54) se observan gráficas lineales que representan los valores de la medición uno, la medición dos, el caudal promedio (por hora), y la media o caudal promedio total de los puntos A y B de descarga de aguas residuales urbanas de San Antonio Nejapa.

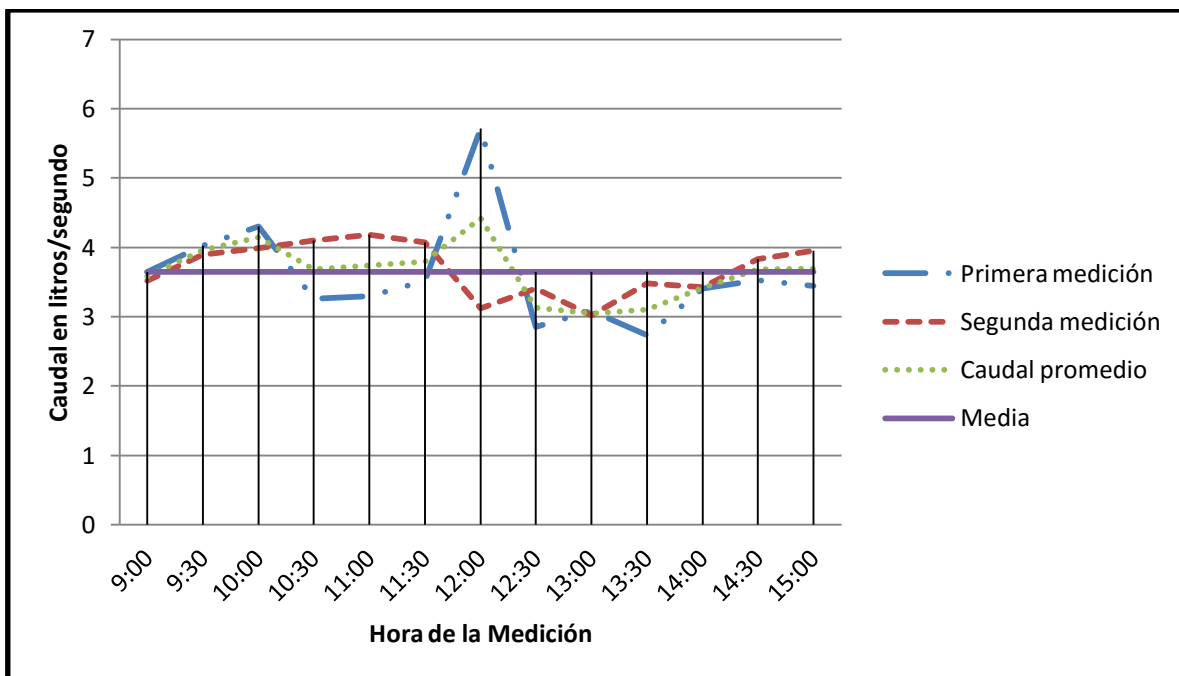


Figura 15. Gráfica comparativa de las mediciones de caudales del punto A de descarga de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango

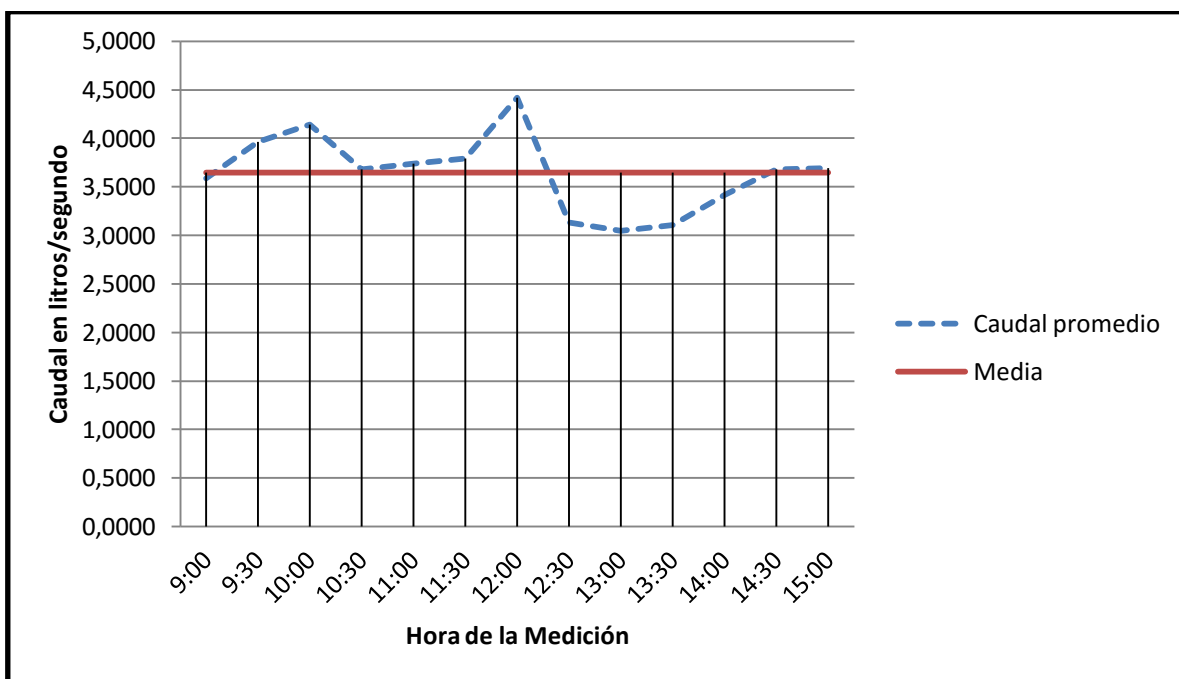


Figura 16. Gráfica comparativa del caudal promedio y la media (caudal promedio total) del punto A de descarga de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

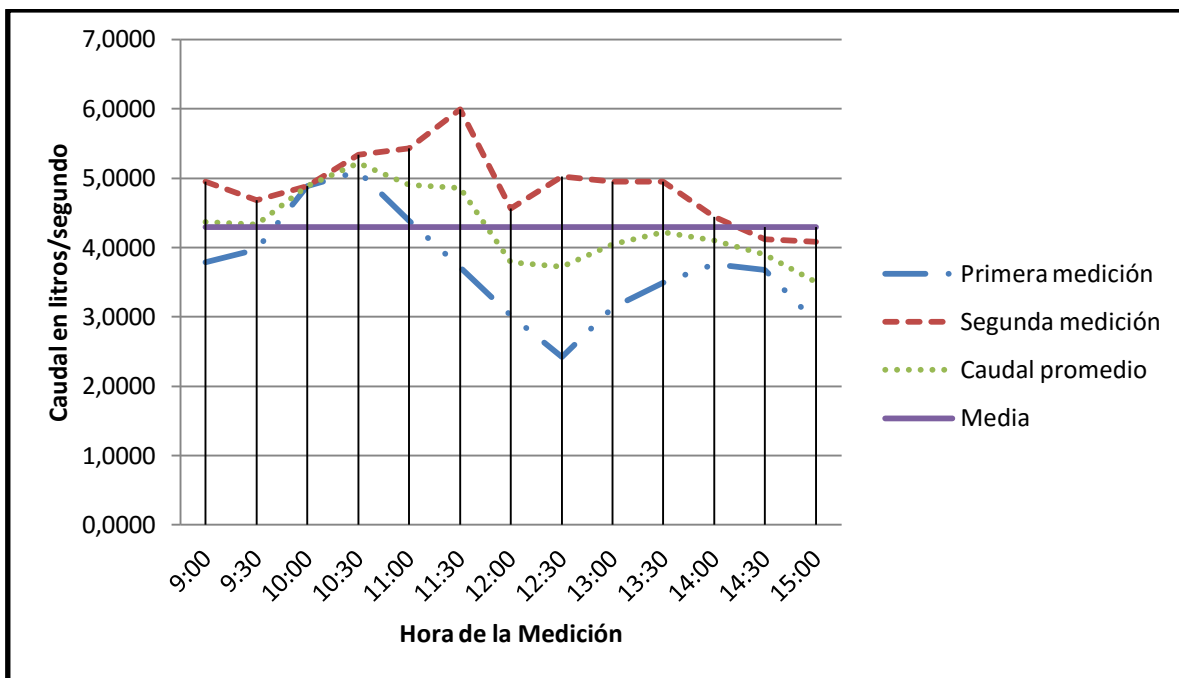


Figura 17. Gráfica comparativa de las mediciones de caudales del punto B de descarga de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango

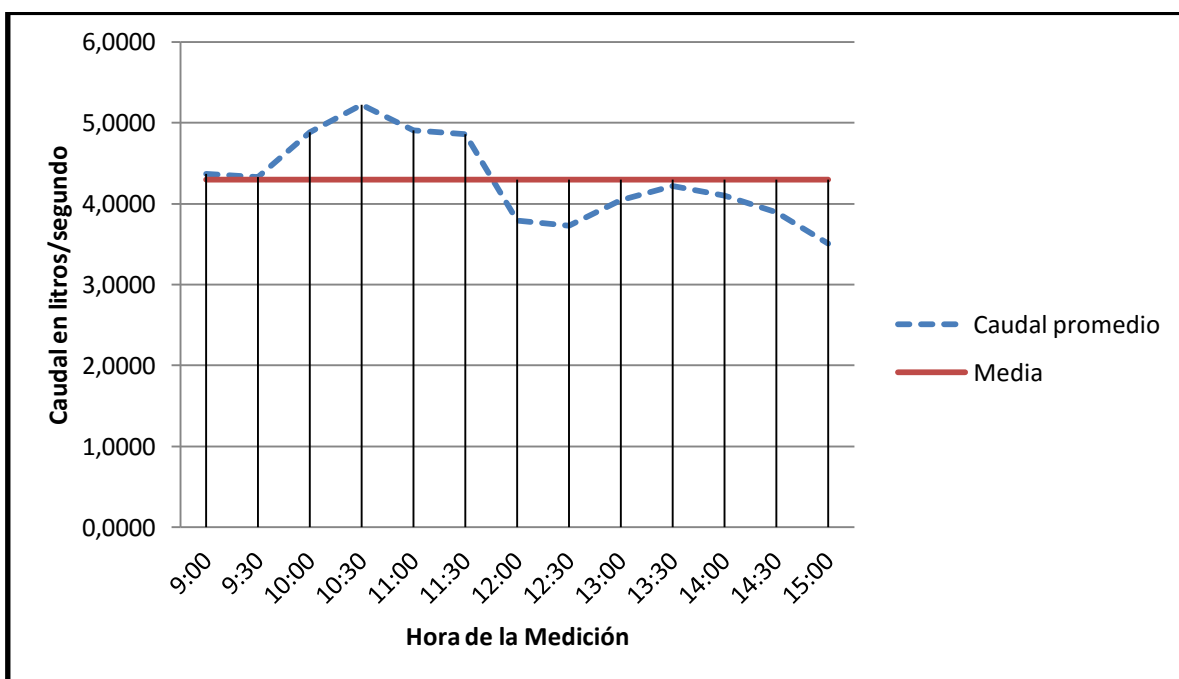


Figura 18. Gráfica comparativa del caudal promedio y la media (caudal promedio total) del punto B de descarga de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

6.2. Determinación de las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa y su establecimiento del grado de cumplimiento de acuerdo a la legislación guatemalteca vigente

Cuadro 13. Matriz comparativa para el cumplimiento de las descargas de aguas residuales urbanas del punto de descarga “B” de la aldea San Antonio Nejapa para el año 2017

			Fecha máxima de cumplimiento	
			Dos de mayo de dos mil diecisiete	
			Etapa	
Parámetros	Dimensionales	Valores actuales (diez de junio de dos mil dieciséis)	Uno	Cumplimiento
Temperatura ^(a)	Grados Celsius	20.7	22 +/- 7	SC
Grasas y aceites	Miligramos por litro	48	50	SC*
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	NC
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	540	250	NC
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	256	275	SC*
Nitrógeno total	Miligramos por litro	12.50	150	SC
Fósforo total	Miligramos por litro	6.32	40	SC
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	7.26	6 a 9	SC
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	1.3×10^7	$< 1 \times 10^7$	NC
Arsénico	Miligramos por litro	<0.0020	0.1	SC
Cadmio	Miligramos por litro	<0.0080	0.1	SC
Cianuro total	Miligramos por litro	0.021	1	SC
Cobre	Miligramos por litro	0.046	3	SC
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	<0.010	0.1	SC
Mercurio	Miligramos por litro	<0.00095	0.02	SC
Níquel	Miligramos por litro	<0.300	2	SC
Plomo	Miligramos por litro	<0.060	0.4	SC
Zinc	Miligramos por litro	0.213	10	SC
Color	Unidades platino cobalto	252	1000	SC

Nota: Elaborado en base al artículo uno del Acuerdo Gubernativo No. 129-2015 de la República de Guatemala; y los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológico de las aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

De los análisis de las ARU de San Antonio Nejapa realizados por el laboratorio ECOQUIMSA se obtuvieron los resultados especificados en el **cuadro 13**.

Donde,

- (a) La temperatura del cuerpo receptor (TCR) se calculó en 22° Celsius. El cuerpo receptor es el río San Antonio.
- SC = El valor actual de las aguas residuales *sí cumple* con lo establecido como límites máximos permisibles especificados en el Acuerdo Gubernativo No. 129 – 2015.
- NC = El valor actual de las aguas residuales *no cumple* con lo establecido como límites máximos permisibles especificados en el Acuerdo Gubernativo No. 129 – 2015.
- SC* = El valor actual de las aguas residuales *sí cumple* con lo establecido como límites máximos permisibles especificados en el Acuerdo Gubernativo No. 129 – 2015; sin embargo, estos valores se encuentran muy cercanos al límite máximo permisible, y deben ser tomados en cuenta para la disminución de sus niveles de contaminación.

Anteriormente se especificó que la aldea San Antonio Nejapa cuenta con dos puntos de descarga de aguas residuales urbanas; esto se debe a que la topografía del terreno no permite que la red de recolección (drenajes de la comunidad), posea solamente un punto de descarga.

Sin embargo, de acuerdo a los cálculos de caudales de descarga de aguas residuales efectuados para ambos puntos, se demostró que el punto B descarga el 54.09% del total de aguas residuales urbanas (con conexión al alcantarillado público), que se generan en la aldea San Antonio Nejapa (8.18% más que el punto de descarga A). Por lo tanto, se escogió éste para la toma de las muestras de aguas residuales, de las cuales se analizaron los 20 parámetros que se especifican en el artículo 16 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

La materia flotante son productos de los desperdicios que son vertidos al drenaje desde las viviendas; siendo algunos de éstos, desechos sólidos inorgánicos tales como preservativos, envolturas de toallas sanitarias, restos de tela, entre otros; asimismo, material orgánico como cáscara de verduras, frutas y heces fecales.

Las coliformes fecales son producidas directamente por las heces fecales humanas, las cuales son vertidas por el retrete a diario; estos microorganismos

ocasionan pérdidas de salud a los seres humanos, principalmente problemas gastrointestinales; disminuyen la calidad de agua para consumo humano.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es producto de la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual; en aguas residuales de tipo ordinaria (doméstica) ésta tiende a ser un valor bastante cercano al de la demanda química de oxígeno (DQO).

En el caso de los límites máximos permisibles para los parámetros de grasas y aceites al igual que los sólidos suspendidos, sí se cumplen para la etapa uno especificada en el **cuadro 13** (página 55); sin embargo, estos límites se encuentran muy cercanos a lo reglamentado, por lo tanto, se deben tratar las aguas residuales con el fin de reducir estos contaminantes, al igual que los tres previamente descritos (materia flotante, coliformes fecales y la DBO).

6.2.1. La relación de la DBO₅ y la DQO

Los análisis de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa que se descargan al río San Antonio, presentan como resultados una demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a 20°C (DBO₅) de 540 mg O₂/l; mientras que en cuanto a la demanda química de oxígeno (DQO), un valor de 862 mg O₂/l.

La relación entre ambos (DQO/DBO₅) da como resultado un valor aproximado de 1.60; que según Lozano-Rivas (2012), los valores iguales o menores a 1.70 se catalogan como “*aguas residuales con materia muy biodegradable*”; por lo tanto, para la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa, es necesario un “tratamiento biológico”.

6.2.2. La carga contaminante

La carga contaminante de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa, se calcula para el punto de descarga B un valor aproximado de 200.42 kg O₂/día (2,799.58 kg O₂/día menos que la meta de reducción para el año 2024; según el artículo No. 17 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006), y 170.09 kg O₂/día para el punto de descarga A (considerando la misma DBO₅ que para el punto de descarga B); por lo tanto, la reducción de esta carga contaminante no debe partir de este valor, sino del “parámetro de calidad asociado”, el cual se especifica en la lista de parámetros del cuadro disponible en el artículo uno del

Acuerdo Gubernativo No. 129 – 2015, que para el año 2017 se establece como límite máximo permisible un valor de 250 mg O₂/l.

Actualmente el valor de la DBO de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa se encuentra en 540 mg O₂/l; esto quiere decir que para el dos de mayo de 2017 debe de haber una reducción mínima del 53.71% de este valor para cumplir con la descarga de aguas residuales a un cuerpo receptor.

6.2.3. Habitantes equivalentes (h-eq) en San Antonio Nejapa

Según Lozano – Rivas (2012), el concepto de “habitantes equivalentes”, considera la inexistencia de dos o más industrias iguales, para lo cual se pondera la carga contaminante de un vertido industrial tomando como referente el aporte del mismo contaminante a nivel doméstico.

Sin embargo, este término también puede ser aplicado para estimar la cantidad de habitantes de una comunidad, considerando la relación que existe entre la carga contaminante total, con los valores promedios registrados a nivel mundial (valores estandarizados).

Para lo cual, se calcula una carga contaminante total (sumando punto de descarga A y B), de 370.45 kg O₂/día (caudal promedio de 7.94 l/s).

Con estos datos, se calcula que la cantidad de “habitantes equivalentes” de San Antonio Nejapa, corresponden a un aproximado de 6,175 de acuerdo a los valores estándares establecidos para la carga contaminante de la DBO₅, que según Lozano – Rivas (2012) se establece en 60 g/día para un habitante equivalente.

6.3. Propuesta del modelo de gestión integral de las aguas residuales urbanas de la Aldea San Antonio Nejapa

El tratamiento de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa, se debe enfocar en la reducción de los niveles de contaminación de los siguientes elementos: grasas y aceites, sólidos suspendidos, materia flotante, coliformes fecales y la DBO₅. En el **cuadro 14** se demuestra la reducción porcentual mínima para cada uno de los parámetros descritos anteriormente, como parte del cumplimiento según el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015.

Cuadro 14. Reducción porcentual mínima de los niveles de contaminación de las aguas residuales urbanas de San Antonio Nejapa, según lo especificado en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015

Parámetro	Reducción Porcentual Mínima (según valores actuales)
Materia Flotante	100%
Coliformes Fecales	23.10%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	53.71%

Se proponen las siguientes fases de tratamiento para las aguas residuales urbanas de esta comunidad:

- Pretratamiento: canal de rejillas, desarenador y trampa de grasas.
- Tratamiento primario: Decantador (sedimentador) primario.
- Tratamiento secundario: Filtro percolador de piedra volcánica (escoria volcánica o de río de 10 a 15 cm de diámetro).

Para el tratamiento de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa, se deben ejecutar dos plantas de tratamiento (para el punto de descarga A y para el punto de descarga B), las cuales cumplan con los requisitos especificados anteriormente.

Se propone que sea el mismo tratamiento para ambos puntos de descarga, considerando que los factores sociales-culturales, económicos y ambientales que influyen directa e indirectamente en las características de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa son los mismos. La única variación que existe entre ambos puntos de descarga y por ende aguas residuales, son los cuerpos receptores a las que son descargadas; esto se debe a que la topografía del terreno donde se ubica esta comunidad no permite que exista sólo un punto de descarga.

Las plantas de aguas residuales diseñadas en esta propuesta, se observan detalladamente en el **anexo 3** (página 72); el diseño cumple con los requisitos mínimos para tratar la materia flotante, grasas y aceites, sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno, con un caudal máximo de 11 litros por segundo (39.60 m³/h).

Los lodos que forman parte de los sub-productos del tratamiento de las aguas residuales, deben ser dispuestos en un “patio de secado o de estabilización de

lodos”. Al momento de ser estabilizados, deben realizarse análisis de laboratorio para determinar si son aptos para ser utilizados en el compostaje conjuntamente con los residuos sólidos orgánicos que se producen en la aldea San Antonio Nejapa, según sus características físicas, químicas y microbiológicas. De lo contrario, deben ser dispuestos en el camión recolector de residuos y desechos sólidos con el que presta el servicio la municipalidad de Acatenango.



Figura 19. Patio de secado de lodos

Fuente: Consideraciones sobre el futuro de los lodos como fertilizante en la agricultura, 2014

Las grasas y aceites, al igual que la materia flotante removida de las aguas residuales deben disponerse en un relleno sanitario o en el camión recolector de basura con el que presta servicio la municipalidad de Acatenango.

6.3.1. Tratamiento en el sitio

Para las viviendas que no vierten sus aguas residuales al alcantarillado público de la aldea San Antonio Nejapa (3% según Panjoj, 2016); se propone que la municipalidad de Acatenango en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), promuevan proyectos para el tratamiento de las aguas residuales de tipo ordinaria con sistemas de tratamiento en el sitio, como se especifica en la **figura 20**.



Figura 20. Esquema de un sistema individual de tratamiento de aguas residuales con cuatro opciones de disposición de las aguas residuales tratadas: 1) Riego; 2) Campo de Infiltración; 3) Pozo de Absorción; y 4) Corriente Hídrica

Fuente: UNAD, s.f.

Este tipo de tratamiento cuenta generalmente con un sistema de recolección de aguas residuales; una fosa séptica; una caja de distribución a un patio de absorción – infiltración; o bien, se pueden emplear para regar pastizales, como lo demuestra el esquema de la **figura 20**.

VII. CONCLUSIONES

- 7.1. En la aldea San Antonio Nejapa se identificó el actual sistema de recolección y descarga de aguas residuales urbanas, el cual cuenta con dos puntos de descarga; uno de éstos vierte las aguas residuales a la Quebrada Chajiyá o río Seco, y el otro al río San Antonio, con caudales promedio de 3.6456 l/s y 4.2957 l/s respectivamente. Asimismo, las zonificaciones donde no se cuenta con el servicio de alcantarillado público, que corresponde a la calle que dirige al cementerio de esta localidad, y las viviendas que se encuentran a la orilla de la Quebrada Chajiyá (río Seco).
- 7.2. Las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales urbanas generadas en la aldea San Antonio Nejapa, se analizaron del punto de descarga B, que es el que vierte éstas a la corriente hídrica superficial del río San Antonio (tomando en consideración que este punto tiene mayor representatividad de descarga de aguas residuales).
- 7.3. Los resultados de los análisis de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa, comprenden un incumplimiento de tres parámetros de los 19 que se toman en consideración según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 y No. 129-2015 de la República de Guatemala; los cuales corresponden a materia flotante, coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO); sin embargo, se suman al incumplimiento de parámetros los sólidos suspendidos, así como grasas y aceites, considerando que los valores actuales se encuentran muy cercanos al límite máximo permisible.
- 7.4. El modelo de gestión integral propuesto para las aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa se basa en la ejecución y operación de dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que cuenten con pretratamiento (canal de rejillas, desarenador, trampa de grasas), tratamiento primario (sedimentador primario), tratamiento secundario (filtro percolador de piedra volcánica o de río). Asimismo, tratamiento en el sitio para las viviendas que no puedan conectarse al alcantarillado público.

VIII. RECOMENDACIONES

- 8.1. Las aguas residuales de tipo agroindustrial vertidas por las industrias cafetaleras de la aldea San Antonio Nejapa, también deben evaluarse, con el fin de proponer su adecuado tratamiento para evitar la contaminación del río San Antonio. Asimismo, fomentar la limpieza de las aguas residuales (ordinarias, agroindustriales, industriales y especiales), de todas las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca del río San Antonio – Quebrada Chajiyá (Pueblo Nuevo, San Antonio Nejapa, Los Pajales, Los Planes y La Soledad).
- 8.2. Deben identificarse todos los puntos de descarga de aguas residuales que son vertidas a las corrientes superficiales de la microcuenca del río San Antonio – Quebrada Chajiyá, como uno de los procedimientos para iniciar con la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de esta zona, que corresponde a la parte alta (2.20%) de la cuenca del río Coyolate.
- 8.3. En posteriores estudios de las ARU de la aldea San Antonio Nejapa (e incluso comunidades aledañas en base a una justificación), debe tomarse en consideración la exención de datos tales como metales pesados, temperatura, potencial de hidrógeno, y cualquier otro parámetro que se haya cumplido en este estudio; tomando en cuenta que según los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos, cumplen con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015.
- 8.4. Debido a que los parámetros de “grasas y aceites” al igual que “sólidos suspendidos”, se encuentran muy cercanos al LMP que se establece para cada uno de éstos en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015, se debe implementar una planta de tratamiento de aguas residuales que reduzca la contaminación por DBO, materia flotante, coliformes fecales y los dos parámetros mencionados anteriormente.
- 8.5. Debe ejecutarse un estudio para evaluar la factibilidad y viabilidad que la gestión integral de las aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa y las otras comunidades que pertenecen a la microcuenca del río San Antonio – Quebrada Chajiyá, sean financiadas por la iniciativa privada que influye directamente en la cuenca del río Coyolate; así como un porcentaje del 30 al 40% de los costos, financiados por los comunitarios; y el resto financiado por la municipalidad de Acatenango o la posible mancomunidad de la microcuenca del río San Antonio – Quebrada Chajiyá.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- 9.1. Anzueto, F. 2006. Las implicaciones del reglamento de Aguas Residuales para el Sector Cafetalero. El Cafetal “La Revista del Caficultor”. p. 5-7. (Documento en digital) gt. Consultado el 07 de marzo de 2016. Disponible en: <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Magazines/2006-11/68/Revista%20El%20Cafetal%20-%20octubre.pdf>
- 9.2. Ávila, M. A.; Esquivel, D. 2014. Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. (En línea). Consultado el 07 de marzo de 2016. Disponible en: <http://www.guatemalagbc.org/acuerdo-gubernativo-236-2006/>
- 9.3. Chamorro de Rodríguez, G. I. 2011. Guía de Hidrometría. Estimación del Caudal por el Método de Flotadores. 18 p. (Documento digital en línea) pe. Consultado el 22 de noviembre de 2016. Disponible en: http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf
- 9.4. Congreso de la República de Guatemala. 1986. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Decreto No. 68-86. Capítulo II. Del Sistema Hídrico. Artículo 15. p. 5 y 6. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 26 de febrero de 2017. Disponible en: [http://www.preventionweb.net/files/27701_gtleyproteccionmedioambiente6886\[1\].pdf](http://www.preventionweb.net/files/27701_gtleyproteccionmedioambiente6886[1].pdf)
- 9.5. Congreso de la República de Guatemala. 1997. Código de Salud. Decreto No. 90-97. Sección III. De la Eliminación y Disposición de Excretas y Aguas Residuales. Artículos del 92 al 101. p. 21-23. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 26 de febrero de 2017. Disponible en: http://asisehace.gt/media/GT_Codigo_Salud_90_97.pdf
- 9.6. Consejo de Desarrollo Departamental de Chimaltenango y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN). 2011. Plan de Desarrollo Departamental de Chimaltenango. 104 p. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 22 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/municipio-de-acatenango>
- 9.7. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Acatenango, Chimaltenango y Secretaría de Planificación y Programación de la

- Presidencia (SEGEPLAN). 2010. Plan de Desarrollo Acatenango Chimaltenango. 90 p. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 15 de febrero de 2016. Disponible en: http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_k2&view=itemlist&task=category&id=49:acatenango&Itemid=333
- 9.8. Consideraciones sobre el futuro de los lodos como fertilizante en la agricultura. 2014. (En línea). Consultado el 10 de agosto de 2016. Disponible en: <http://vegamediapress.es/not/8420/consideraciones-sobre-el-futuro-de-los-lodos-como-fertilizante-en-la-agricultura/>
- 9.9. Constitución Política de la República de Guatemala. Artículo 97. Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico. p. 19. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 26 de febrero de 2017. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/mla/sp/gtm/sp_gtm-int-text-const.pdf
- 9.10. Definición de Parámetro. s.f. (En línea). Consultado el 29 de marzo de 2017. Disponible en: <https://diccionarioactual.com/parametro/>
- 9.11. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. 2014. La contaminación hídrica y sus causas. (En línea). Consultado el 28 de agosto de 2016. Disponible en: <http://www.psa.com.ar/psa-es-salud/notas-de-interes/contaminacion-hidrica#.V8iHraKGzEM>
- 9.12. Documentos de Depósito de la FAO. s.f. Capítulo 4 – Caudal. (En línea). Consultado el 22 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s06.htm>
- 9.13. Elías, S.; Ochoa, P. 2011. Estudio de caso de San Antonio Nejapa Acatenango, Chimaltenango. 25 p. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 11 de julio de 2016. Disponible en: http://www.tierrascomunales.org/wp-content/uploads/2014/12/San_Antonio_Nejapa_Alotenango.pdf
- 9.14. Instituto de Incidencia Ambiental y Universidad Rafael Landívar (URL). 2003. Estado Actual de los Recursos Hídricos de Guatemala. p. 3 y 4. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 13 de abril de 2016. Disponible en:


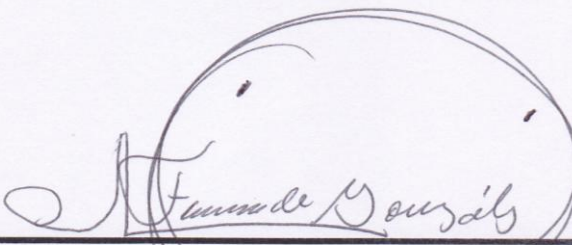
https://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjy8_yUylzMAhVB9GMKHSauCI4QFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.infoiarna.org.gt%2Findex.php%2Fcomponent%2Fdocman%2Fdoc_download%2F199-estado-actual-de-los-recursos-hidricos-de-guatemala&usg=AFQjCNGTY1R9IYadBkJle1BH-08y8I_blg

- 9.15. Instituto de Incidencia Ambiental y Universidad Rafael Landívar (URL). 2005. Situación del Recurso Hídrico en Guatemala. p. 21. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 13 de abril de 2016. Disponible en: http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/serie_amb/4.PDF
- 9.16. Lozano – Rivas, W. A. 2012. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. 194 p. (Documento digital en línea) co. Consultado el 29 de septiembre de 2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenio_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales
- 9.17. Metales pesados - definición. s.f. (En línea). Consultado el 29 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.infojardin.net/glosario/mercurio/metales-pesados.htm>
- 9.18. MINEDUC. 2010. Municipio de Acatenango, Chimaltenango. Historia. (En línea). Consultado el 11 de julio de 2016. Disponible en: <http://www.mineducchimal.gob.gt/acatenango.html?ckattempt=1>
- 9.19. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2006. Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo No. 236 – 2006. 24 p. (Documento digital en línea) gt. Disponible en: http://www.chmguatemala.gob.gt/convenios/legislacion-ambiental/legislacion-ambiental/Acuerdo_Gubernativo_236-2006_de_disposici_n_de_aguas_residuales_1.pdf
- 9.20. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2008. Manual general del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. 52 p. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 15 de julio de 2016. Disponible en: http://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/09-manual_general_del_rarl.pdf

- 9.21. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2014. El 90% de las fuentes de agua en Guatemala están contaminadas. (En línea). Consultado el 10 de octubre de 2016. Disponible en: <http://www.soy502.com/articulo/el-90-de-las-fuentes-de-agua-en-guatemala-estan-contaminadas>
- 9.22. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2015. Acuerdo Gubernativo No. 129 – 2015: Reforma al Acuerdo Gubernativo Número 236-2006 de fecha cinco (5) de mayo del año dos mil seis (2006), Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. p. 2. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 25 de julio de 2016. Disponible en: http://www.segeplan.gob.gt/downloads/2015/SPOT/Mandatos_y_Normativas/Mandatos/Acuerdo%20Gubernativo%20129-2015.pdf
- 9.23. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2016. Reforma al Acuerdo Gubernativo Número 236-2006 de fecha cinco (5) de mayo del año dos mil seis (2006), Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo No. 110-2016. p. 2. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 29 de marzo de 2017. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0By1EGxk2dLqxRjRNdTJpeXhxUVE/view>
- 9.24. Ministerio de Trabajo y Previsión Social. 2016. Salarios Mínimos para Actividades Agrícolas, No Agrícolas y de la Actividad Exportadora y de Maquila. Acuerdo Gubernativo No. 288-2016. 2 p. (Documento digital en línea) gt. Consultado el 05 de marzo de 2017. Disponible en: http://www.mintrabajo.gob.gt/images/organizacion/leyesconveniosyacuerdos/Acuerdo_Gubernativo_288-2016.pdf
- 9.25. Noyola, A.; Morgan Sagastume, J. M.; Güereca, L. P. 2013. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). p 7. (Documento digital en línea) mx. Consultado el 31 de agosto de 2016. Disponible en: <https://www.globalmethane.org/documents/Seleccion-de-Tecnologias-para-el-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Municipales.pdf>
- 9.26. Orantes, R. 2015. Un 50% de comunas no trata aguas residuales. (En línea). Consultado el 07 de marzo de 2016. Disponible en:

<http://www.s21.com.gt/nacionales/2015/04/20/50-comunas-no-trata-aguas-residuales>

- 9.27. Panjoj, C. 2016. Informe final del EPS. Aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango. EPS Carrera de Trabajo Social. Guatemala, GT., USAC. Escuela de Trabajo Social.
- 9.28. Quisque, O.F. 2016. La contaminación asfixia los ríos del país. (En línea). Consultado el 23 de junio de 2016. Disponible en: <http://www.prensalibre.com/guatemala/peten/rios-agonizan>
- 9.29. Robartaigh, P. 2007. El efecto de las bacterias coliformes fecales en el medio ambiente. (En línea). Consultado el 29 de marzo de 2017. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/efecto-bacterias-coliformes-fecales-medio-ambiente-info_291092/
- 9.30. Rodas, L. 2015. Amplían plazos para tratar aguas. (En línea). Consultado el 12 de abril de 2016. Disponible en: <http://elquetzalteco.com.gt/lo-destacado/amplian-plazo-para-tratar-aguas>
- 9.31. Santos, A.; Ramos, D.; Paz, M.J. 2016. Plan Comunitario de Gestión Ambiental de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango. Chimaltenango, GT. 156 p.
- 9.32. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). s.f. Capítulo 8. Tratamiento en el sitio de origen. (En línea). Consultado el 05 de agosto de 2016. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/capitulo_8_tratamiento_en_el_sitio_de_origen.html



Vo.Bo. Licda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria CUNSUROC

X. ANEXOS

Anexo 1. Datos para la medición de caudales de aguas residuales

Cuadro 15. Datos para el cálculo de la medición de caudales del punto de descarga A de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

Hora	Primera medición		Segunda medición	
	Tiempo promedio	Volumen	Tiempo promedio	Volumen
9:00	6.273	22.9022	6.351	22.36
9:30	5.687	22.9022	5.739	22.36
10:00	5.328	22.9022	5.610	22.36
10:30	7.019	22.9022	5.453	22.36
11:00	6.957	22.9022	5.347	22.36
11:30	6.514	22.9022	5.493	22.36
12:00	4.005	22.9022	7.169	22.36
12:30	8.025	22.9022	6.562	22.36
13:00	7.428	22.9022	7.415	22.36
13:30	8.390	22.9022	6.423	22.36
14:00	6.725	22.9022	6.534	22.36
14:30	6.495	22.9022	5.834	22.36
15:00	6.655	22.9022	5.665	22.36

Nota: Datos obtenidos de mediciones en campo

Cuadro 16. Datos para el cálculo de la medición de caudales del punto de descarga B de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

Hora	Medición 1		Medición 2		Área transversal (cm ²)
	Tp	Distancia (cm)	Tp	Distancia (cm)	
9:00	SD	40	0.69	40	100.5309649
9:30	0.86	40	0.73	40	100.5309649
10:00	0.70	40	0.70	40	100.5309649
10:30	0.67	40	0.64	40	100.5309649
11:00	0.78	40	0.63	40	100.5309649
11:30	0.92	40	0.57	40	100.5309649
12:00	1.13	40	0.75	40	100.5309649
12:30	1.41	40	0.68	40	100.5309649
13:00	1.09	40	0.69	40	100.5309649
13:30	0.98	40	0.69	40	100.5309649
14:00	0.91	40	0.77	40	100.5309649
14:30	0.93	40	0.83	40	100.5309649
15:00	1.17	40	SD	40	100.5309649

Nota: Datos obtenidos de mediciones en campo

Anexo 2. Propuesta de terrenos para la ejecución de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

Los terrenos que se proponen para la ejecución de las PTAR de la aldea San Antonio Nejapa, son los siguientes:

Cuadro 17. Información de los terrenos para la ejecución de las PTAR para las aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

Referencia	Contacto	Precio	Punto de Descarga	Área en m ² (aproximada)
Quebrada Chajiyá	Juan Chutá (propietario); teléfono: (502) 4500-3898	Q 250,000.00	A	963.06
Río San Antonio	Cooperativa El Pensativo R.L. Vidal Marroquín (Presidente). José Manuel Sivil (representante legal).	El Concejo Municipal de Acatenango debe reunirse con el consejo de la Cooperativa El Pensativo para tratar el asunto del terreno (si se llegase a vender o se diera en concesión).	B	779.95

Los terrenos se observan en el mapa de la **figura 21**. Se recomienda que en el terreno que se encuentra disponible para la PTAR del punto de descarga A, se deje un espacio para que los comunitarios puedan acceder fácilmente a la toma de agua (nacimiento de agua), que ha sido parte de esta comunidad durante varios años.

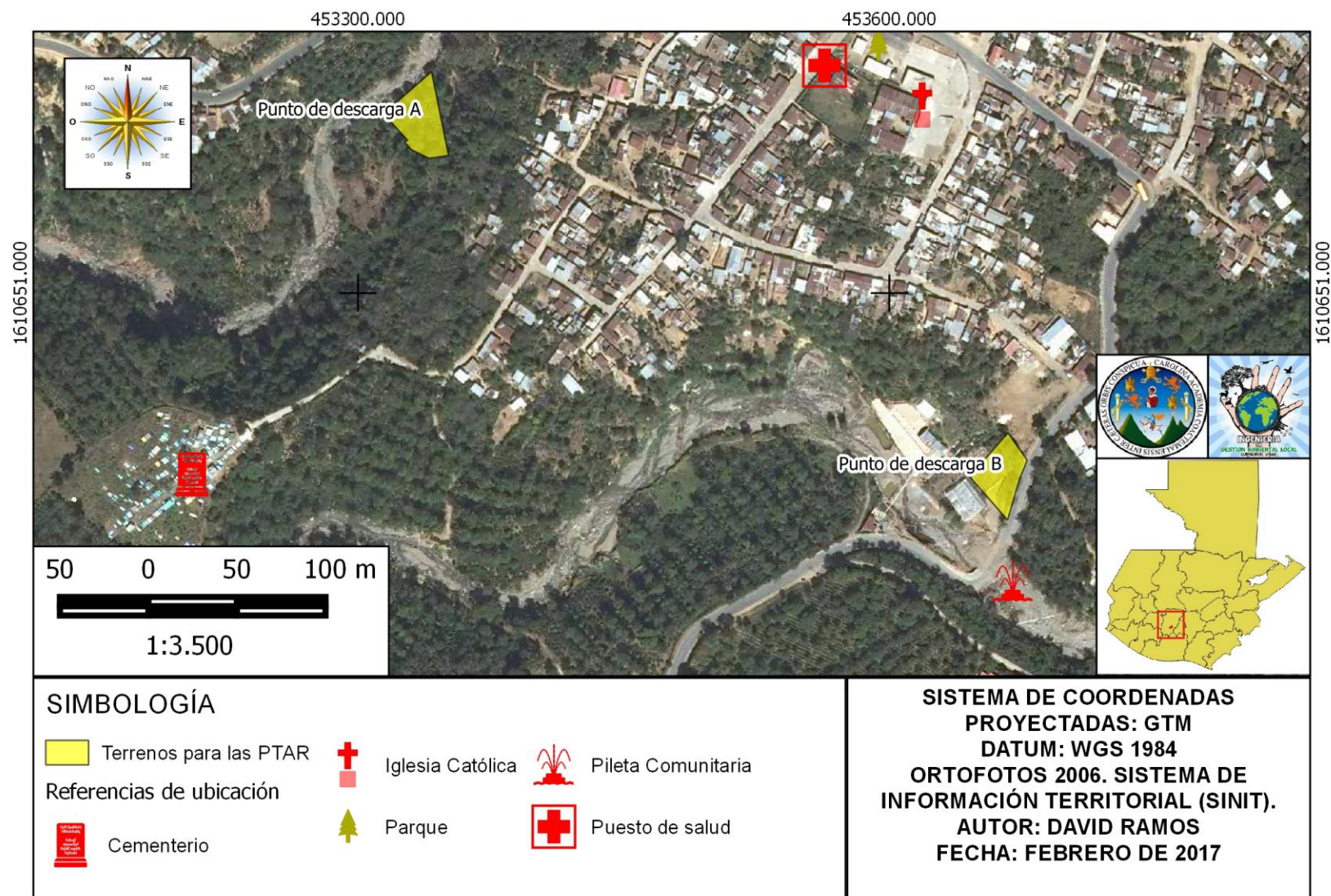
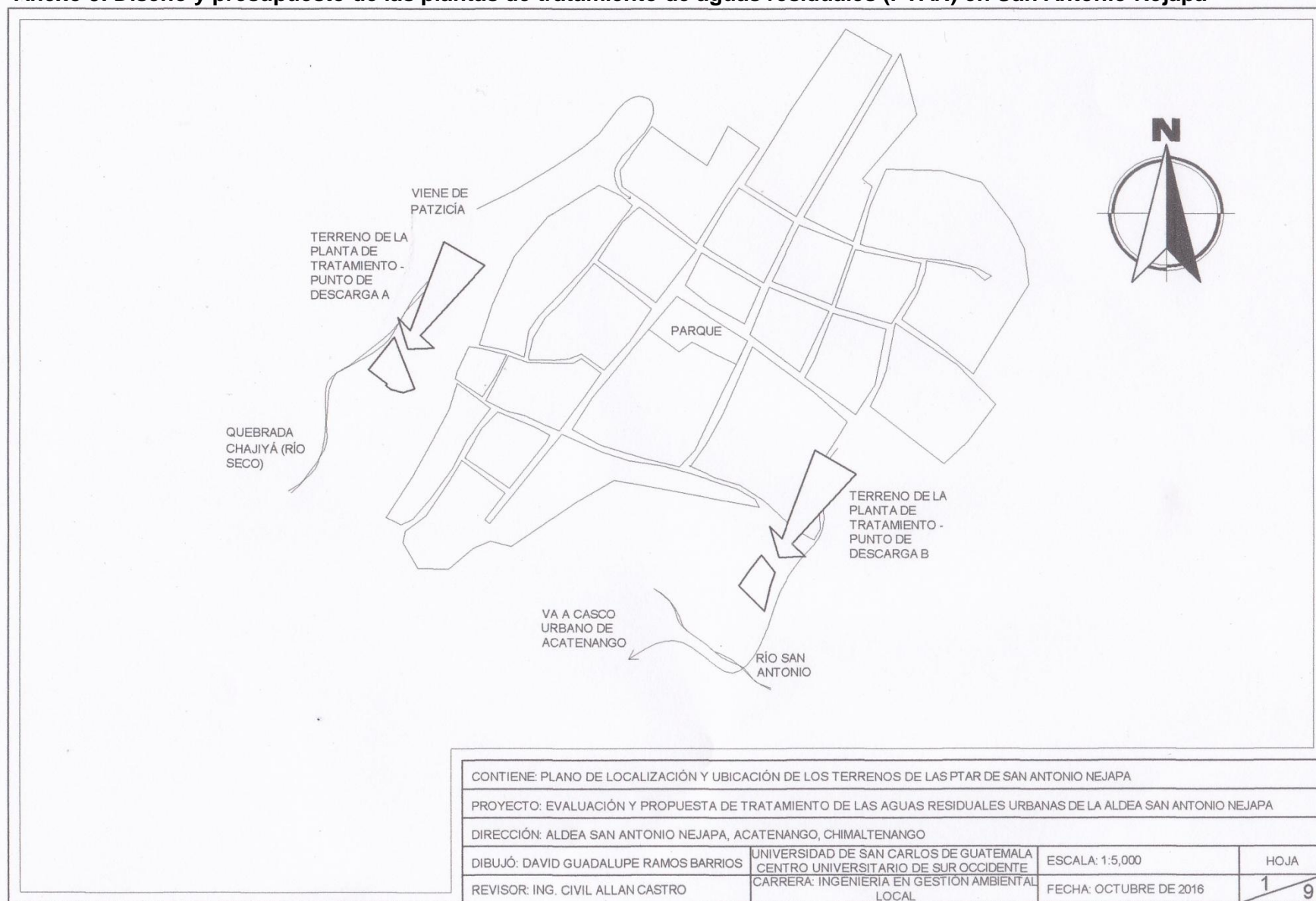
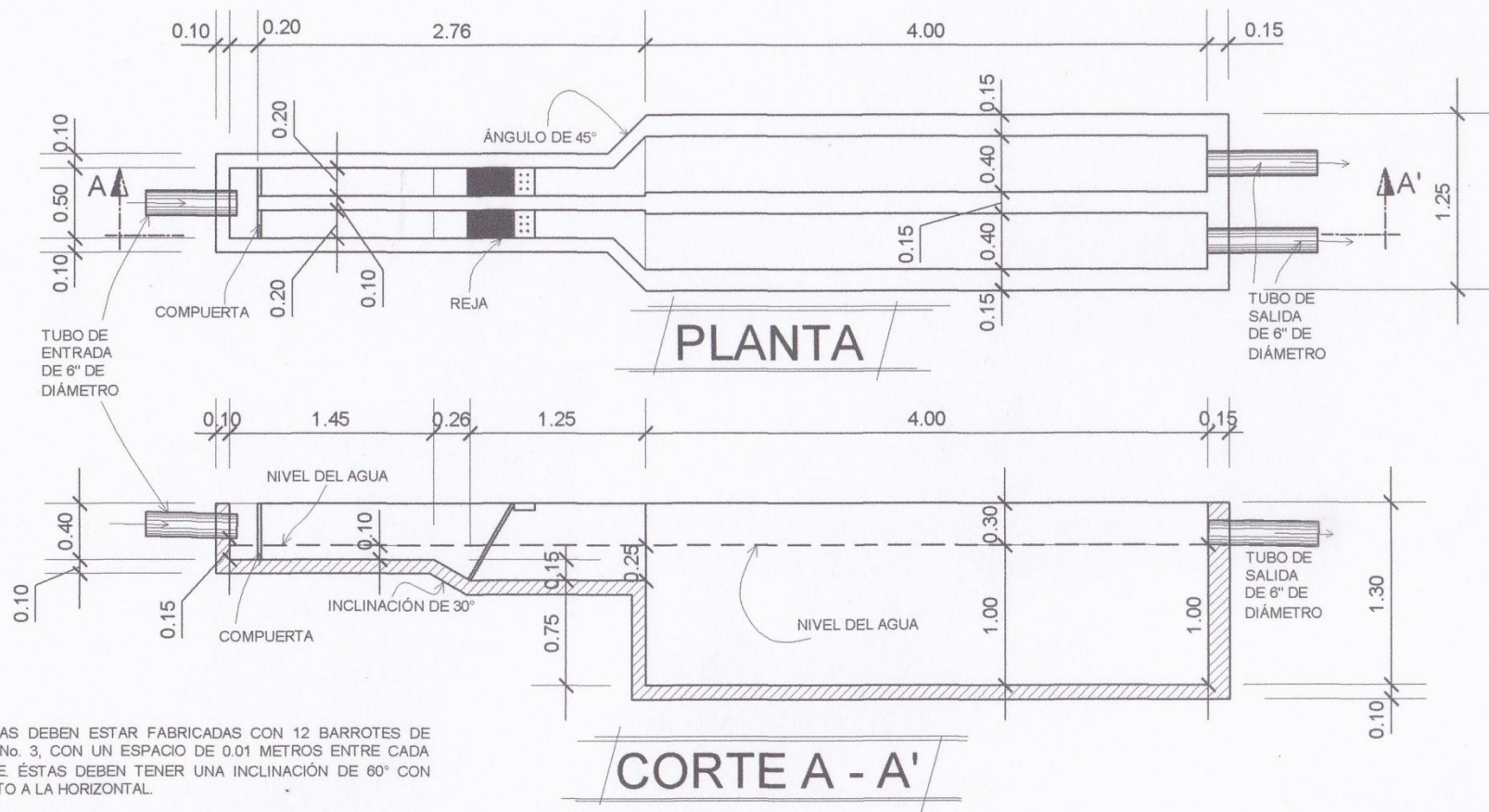


Figura 21. Terrenos propuestos para la ejecución de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

Anexo 3. Diseño y presupuesto de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en San Antonio Nejapa





NOTAS:

LAS REJAS DEBEN ESTAR FABRICADAS CON 12 BARROTES DE HIERRO No. 3, CON UN ESPACIO DE 0.01 METROS ENTRE CADA BARROTE. ÉSTAS DEBEN TENER UNA INCLINACIÓN DE 60° CON RESPECTO A LA HORIZONTAL.

EL CANAL DE REJAS Y EL DESARENADOR DISEÑADO EN ESTE PLANO, TIENE LA CAPACIDAD MÁXIMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE 11 LITROS POR SEGUNDO.

EL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH) EN EL CANAL DE REJAS Y DESARENADOR DE ESTE DISEÑO, CON UN CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES DE 11 L/S (0.011 METROS CÚBICOS/ SEGUNDO), ES DE DOS MINUTOS Y 33 SEGUNDOS APROXIMADAMENTE.

CONTIENE: CANAL DE REJAS Y DESARENADOR

PROYECTO: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA

DIRECCIÓN: ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO

DIBUJÓ: DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE
CARRERA: INGENIERIA EN GESTION AMBIENTAL
LOCAL

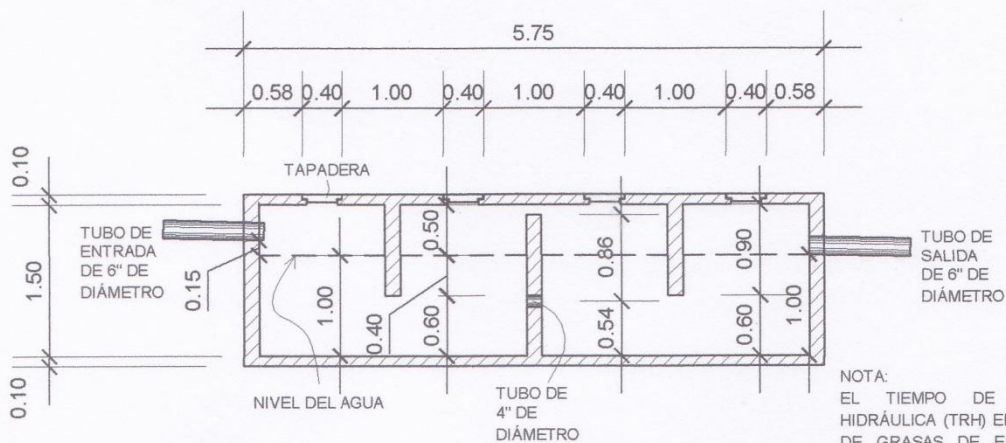
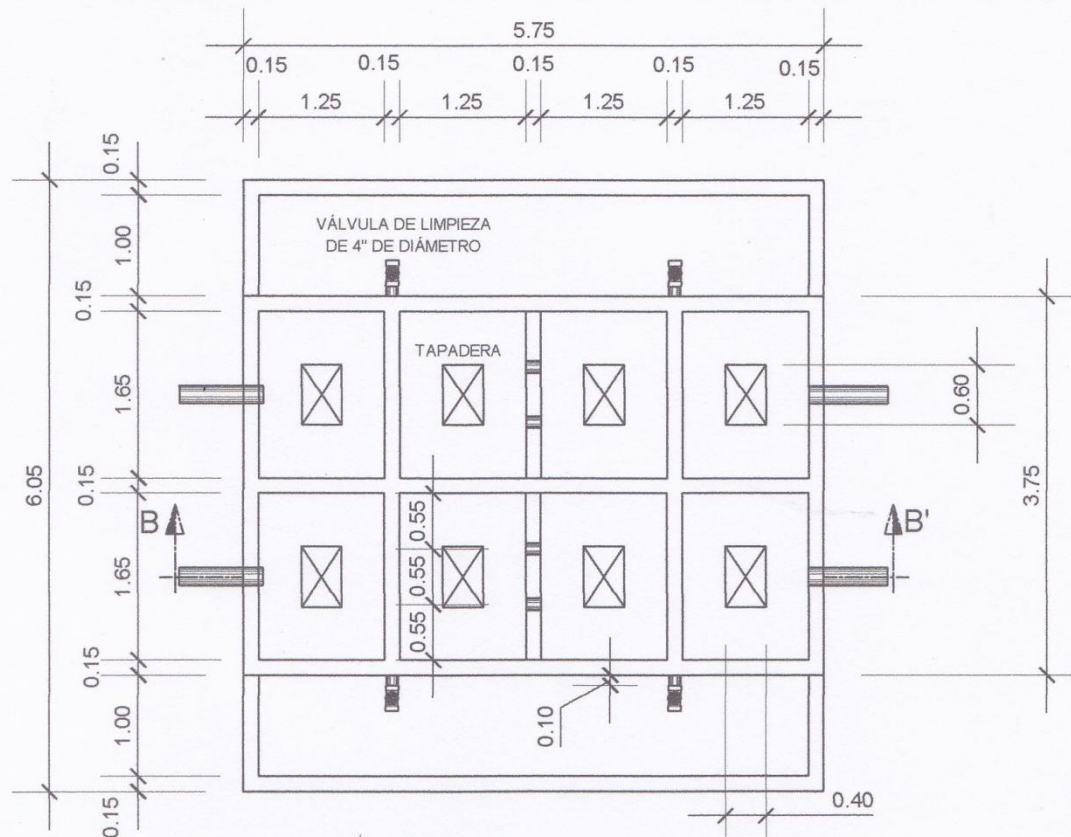
ESCALA: 1:50

HOJA

REVISOR: ING. CIVIL ALLAN CASTRO

FECHA: OCTUBRE DE 2016

2/9



NOTA:
EL TIEMPO DE RETENCIÓN
HIDRÁULICA (TRH) EN LA TRAMPA
DE GRASAS DE ESTE DISEÑO,
CON UN CAUDAL DE AGUAS
RESIDUALES DE 11 L/S (0.011
METROS CÚBICOS/ SEGUNDO), ES
DE 12 MINUTOS Y 57 SEGUNDOS.

CONTIENE: TRAMPA DE GRASAS

PROYECTO: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA

DIRECCIÓN: ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO

DIBUJÓ: DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS

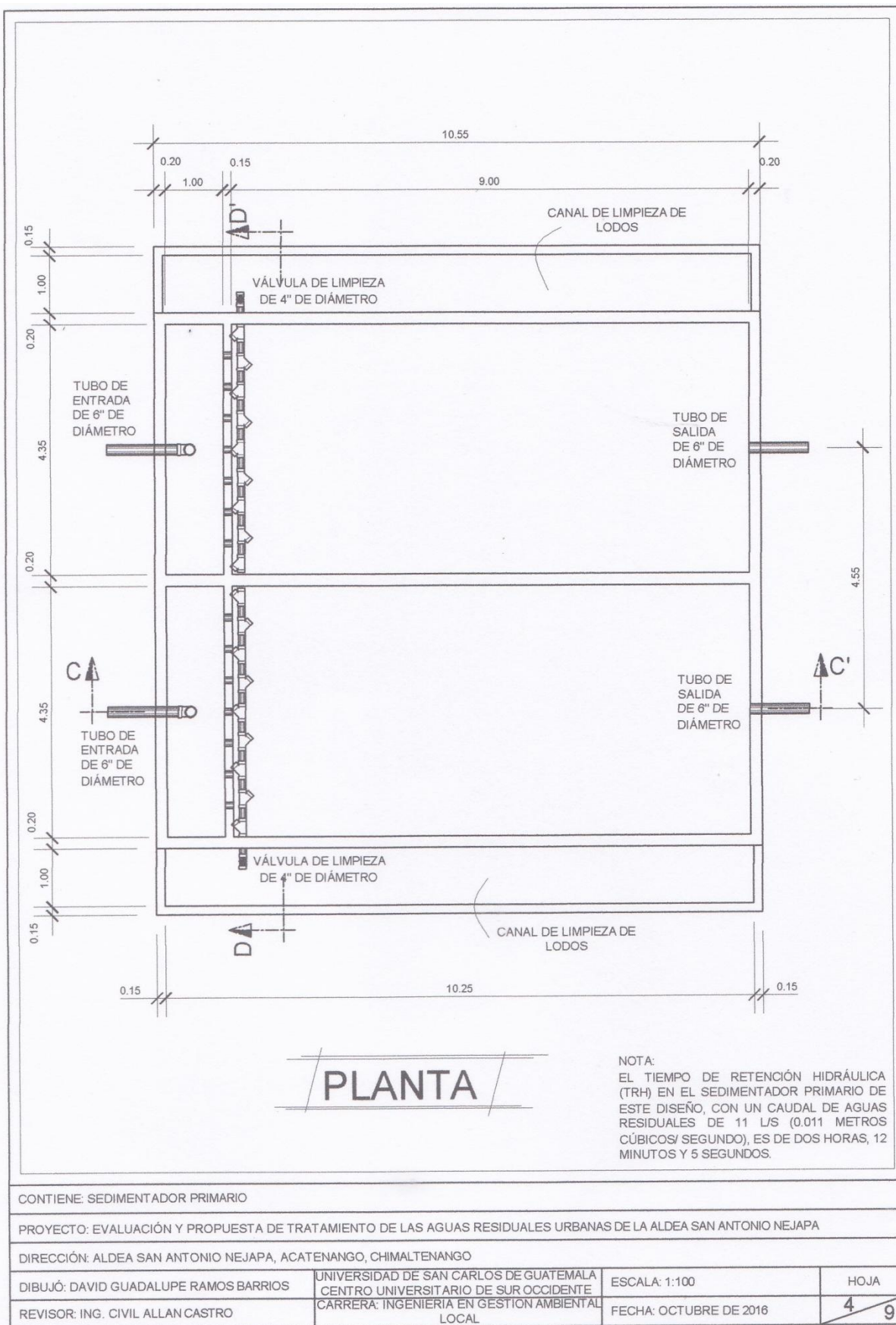
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE
CARRERA: INGENIERIA EN GESTION AMBIENTAL
LOCAL

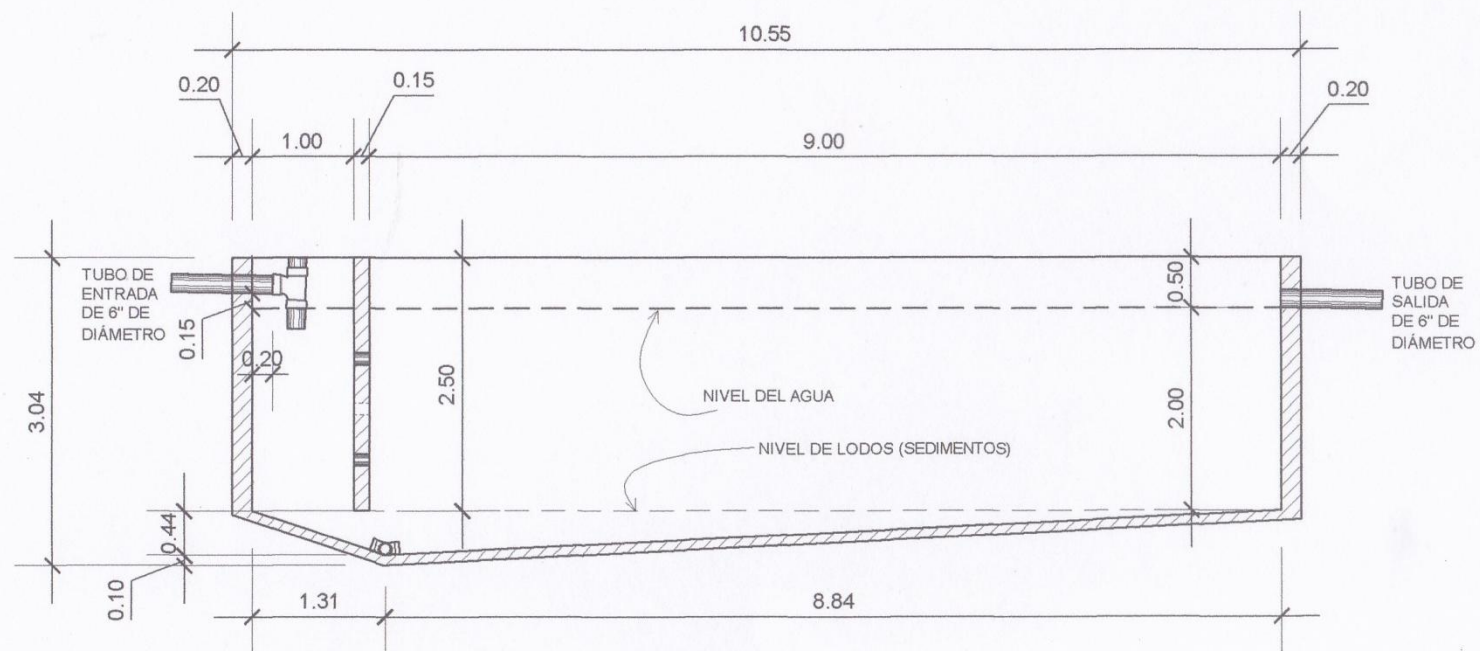
ESCALA: 1:75

FECHA: OCTUBRE DE 2016

HOJA

3





CORTE C - C'

CONTIENE: SEDIMENTADOR PRIMARIO

PROYECTO: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA

DIRECCIÓN: ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO

DIBUJÓ: DAVID GUADALUPE RAMOS BARRÍOS
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE
CARRERA: INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL
LOCAL

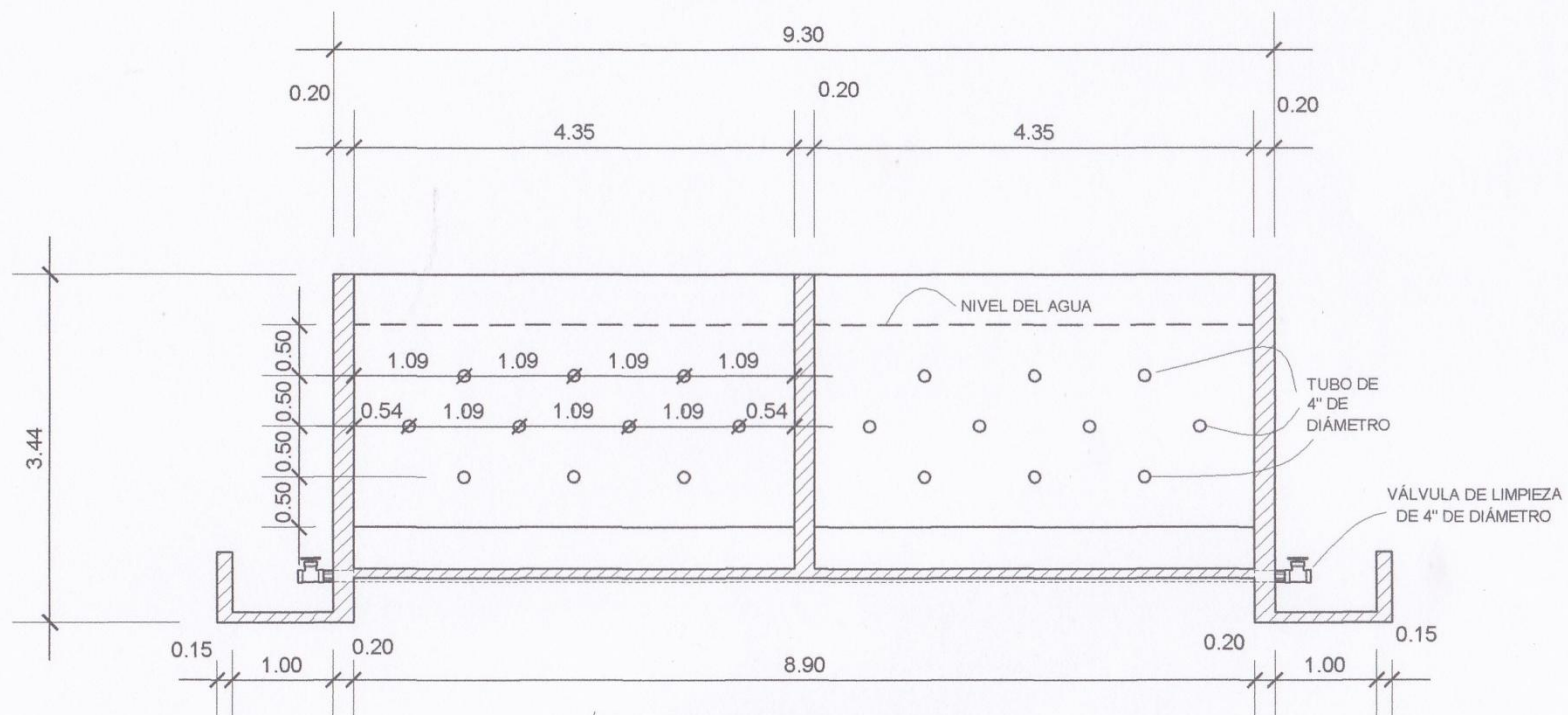
ESCALA: 1:75

HOJA

REVISOR: ING. CIVIL ALLAN CASTRO

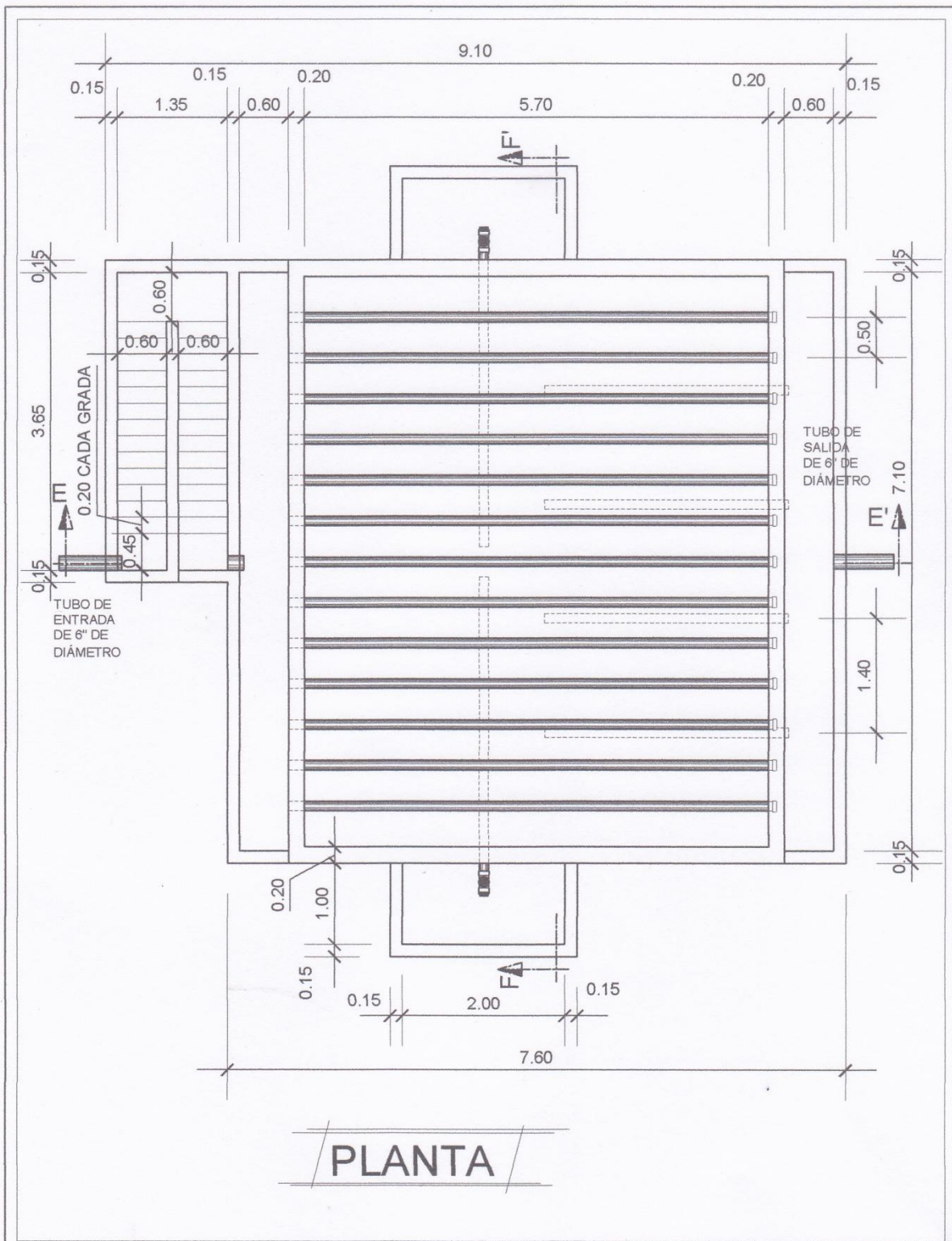
FECHA: OCTUBRE DE 2016

5/9



CORTE D - D'

CONTIENE: SEDIMENTADOR PRIMARIO			
PROYECTO: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA			
DIRECCIÓN: ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO			
DIBUJÓ: DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE	ESCALA: 1:75	HOJA
REVISOR: ING. CIVIL ALLAN CASTRO	CARRERA: INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL	FECHA: OCTUBRE DE 2016	6/9



CONTIENE: FILTRO PERCOLADOR DE PIEDRA VOLCÁNICA O DE RÍO

PROYECTO: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA

DIRECCIÓN: ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO

DIBUJÓ: DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS

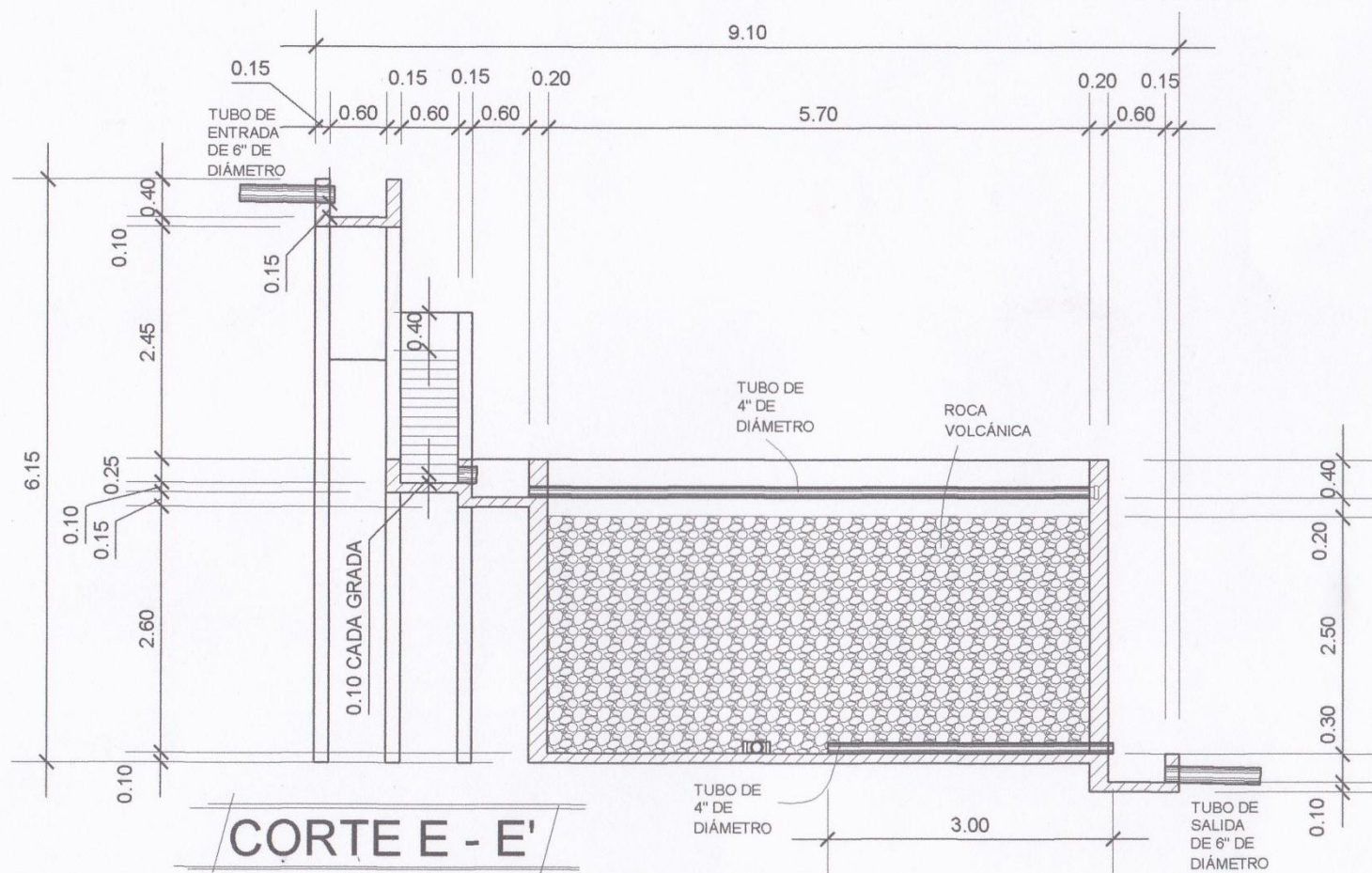
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE
CARRERA: INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL
LOCAL

ESCALA: 1:75

FECHA: OCTUBRE DE 2016

HOJA

7/9



CONTIENE: FILTRO PERCOLADOR DE PIEDRA VOLCÁNICA O DE RÍO

PROYECTO: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA

DIRECCIÓN: ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO

DIBUJÓ: DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ESCALA: 1:75

HOJA

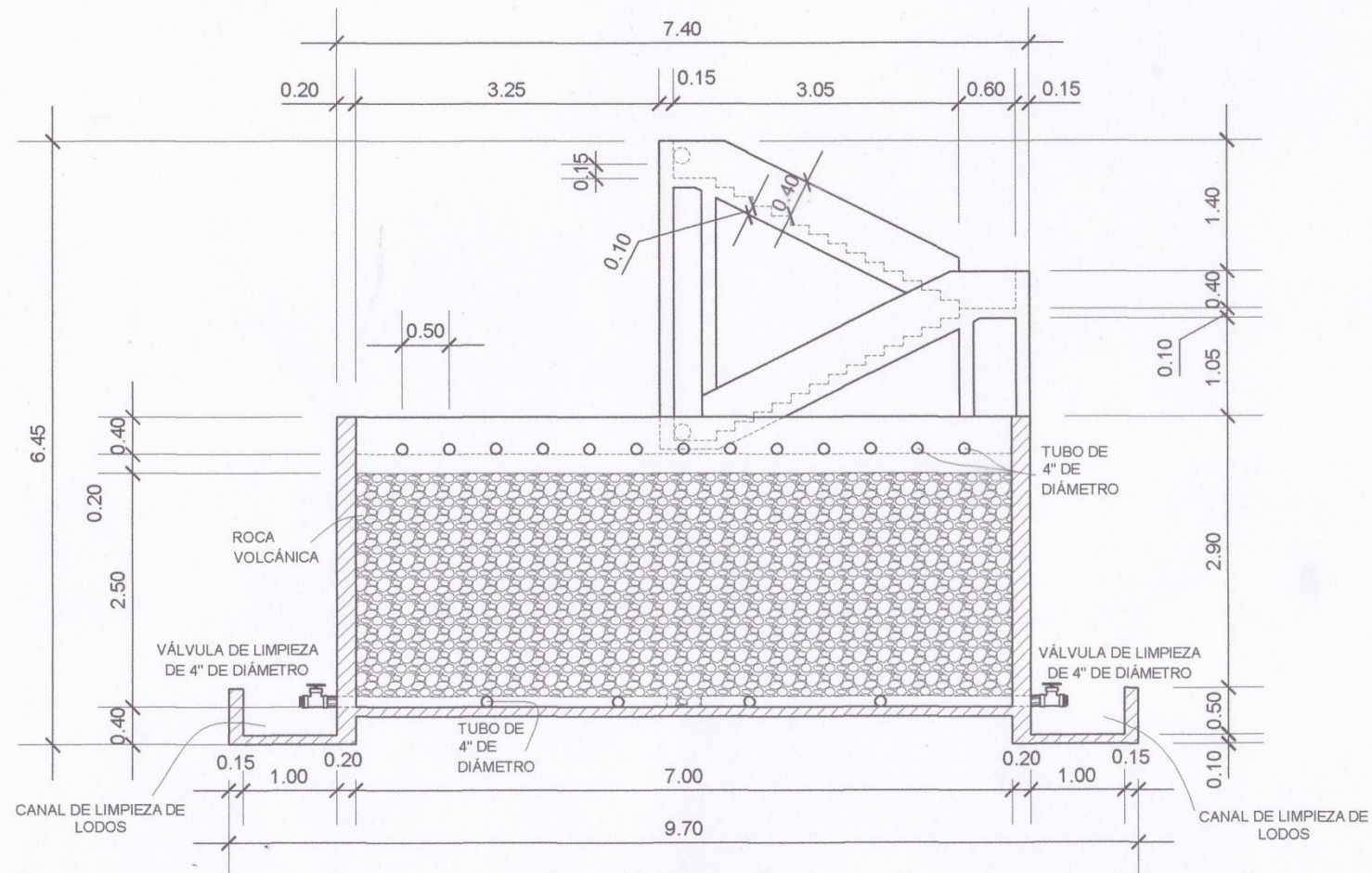
REVISOR: ING. CIVIL ALLAN CASTRO

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE

FECHA: OCTUBRE DE 2016

8

9



CORTE F - F'

CONTIENE: FILTRO PERCOLADOR DE PIEDRA VOLCÁNICA O DE RÍO

PROYECTO: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA

DIRECCIÓN: ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO

DIBUJÓ: DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE

ESCALA: 1:75

HOJA

REVISOR: ING. CIVIL ALLAN CASTRO

CARRERA: INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL
LOCAL

FECHA: OCTUBRE DE 2016

9/9

Cuadro 18. Presupuesto de materiales del canal de rejillas y desarenador

Canal de rejillas y desarenador						
No.	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO U.	TOTAL	
1	Cemento U.G.C.	19	Bolsa	Q 70.00	Q	1,330.00
2	Arena azul	2.5	M ³	Q 125.00	Q	312.50
3	Piedrín triturado de ½"	2.1	M ³	Q 160.00	Q	336.00
4	Hierro de 1/4"	0.55	Quintal	Q 210.00	Q	115.50
5	Hierro de 3/8"	4.45	Quintal	Q 230.00	Q	1,023.50
6	Block de 0.15 m* 0.20 m* 0.40 m – 35 kg/cm ²	264	Unidad	Q 3.80	Q	1,003.20
7	Block tipo tabique 0.10 m * 0.20 m * 0.40 m – 25 kg/cm ²	176	Unidad	Q 3.75	Q	660.00
8	Alambre de amarre	17.02	Libra	Q 4.50	Q	76.59
9	Tablas de 1" * 12" * 10'	4	Docena	Q 300.00	Q	1,200.00
10	Puerta de acero inoxidable de 0.40 m * 0.20 m	2	Unidad	Q 500.00	Q	1000.00
11	Clavos de 3"	5	Libra	Q 4.50	Q	22.50
12	Clavos de 2"	5	Libra	Q 4.50	Q	22.50
Total de materiales					Q	7,102.29

Cuadro 19. Presupuesto de materiales de la trampa de grasas

Trampa de grasas					
No.	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO U.	TOTAL
1	Cemento U.G.C.	75	Bolsa	Q 70.00	Q 5,250.00
2	Arena azul	9.7	M ³	Q 125.00	Q 1,212.50
3	Piedrín triturado de ½"	8.5	M ³	Q 160.00	Q 1,360.00
4	Hierro de 1/4"	2.33	Quintal	Q 210.00	Q 489.30
5	Hierro de 1/2"	2.15	Quintal	Q 215.00	Q 462.25
6	Hierro de 3/8"	16.6	Quintal	Q 230.00	Q 3,818.00
7	Tubo P.V.C. de 4"	0.33	Unidad	Q 65.00	Q 21.45

Cuadro 19. (Continuación)

Trampa de grasas						
No.	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO U.	TOTAL	
8	Válvulas de 4" Durman	4	Unidad	Q 375.00	Q	1,500.00
9	Block de 0.15 m* 0.20 m* 0.40 m – 35 kg/cm ²	881	Unidad	Q 3.80	Q	3,347.80
10	Alambre de amarre	38	Libra	Q 4.50	Q	171.00
11	Tablas de 1" * 12" * 10'	3	Docena	Q 300.00	Q	900.00
12	Reglas de 2" * 3" * 9'	1	Docena	Q 300.00	Q	300.00
13	Clavos de 3"	10	Libra	Q 4.50	Q	45.00
14	Clavos de 2"	10	Libra	Q 4.50	Q	45.00
Total de materiales					Q	18,922.30

Cuadro 20. Presupuesto de materiales del sedimentador primario

Sedimentador primario						
No.	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO U.	TOTAL	
1	Cemento U.G.C.	127	Bolsa	Q 70.00	Q	8,890.00
2	Arena azul	16.7	M3	Q 125.00	Q	2,087.50
3	Piedrín triturado de ½"	14	M3	Q 160.00	Q	2,240.00
4	Hierro de 1/4"	10	Quintal	Q 210.00	Q	2,100.00
5	Hierro de 1/2"	46.8	Quintal	Q 215.00	Q	10,062.00
6	Hierro de 3/8"	53.5	Quintal	Q 230.00	Q	12,305.00
7	Tubo P.V.C. de 4"	2.5	Unidad	Q 65.00	Q	162.50
8	Válvulas de 4" Durman	2	Unidad	Q 375.00	Q	750.00
9	Tee P.V.C. de 6"	2	Unidad	Q 75.00	Q	150.00
10	Pegamento para tubo P.V.C.	1	Galón	Q 420.00	Q	420.00
11	Yee P.V.C. de 4"	18	Unidad	Q 28.00	Q	504.00
12	Block de 0.20 m * 0.20 m * 0.40 m	1,663	Unidad	Q 4.50	Q	7,483.50

Cuadro 20. (Continuación).

Sedimentador primario						
No.	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO U.		TOTAL
13	Block de 0.15 m* 0.20 m* 0.40 m – 35 kg/cm ²	242	Unidad	Q	3.80	Q 919.60
14	Alambre de amarre	201	Libra	Q	4.50	Q 904.50
15	Tablas de 1" * 12" * 9'	3	Docena	Q	300.00	Q 900.00
16	Tablas de 1" * 12" * 12'	3	Docena	Q	300.00	Q 900.00
17	Reglas de 2" * 3" * 10'	3	Docena	Q	300.00	Q 900.00
18	Clavos de 3"	20	Libra	Q	4.50	Q 90.00
19	Clavos de 2"	20	Libra	Q	4.50	Q 90.00
Total de materiales						Q 51,858.60

Cuadro 21. Presupuesto de materiales del filtro percolador de piedra volcánica o de río

Filtro percolador de piedra volcánica o de río						
No.	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO U.		TOTAL
1	Cemento U.G.C.	163	Bolsa	Q	70.00	Q 11,410.00
2	Arena azul	21.06	M ³	Q	125.00	Q 2,632.50
3	Piedrín triturado de ½"	19.15	M ³	Q	160.00	Q 3,064.00
4	Piedra volcánica (escoria) o de río de 10 a 15 cm de diámetro	111	M ³	Q	125.00	Q 13,875.00
5	Hierro de 1/4"	5.9	Quintal	Q	210.00	Q 1,239.00
6	Hierro de 1/2"	19.25	Quintal	Q	215.00	Q 4,138.75
7	Hierro de 3/8"	35	Quintal	Q	230.00	Q 8,050.00
8	Tubo P.V.C. de 4"	17	Unidad	Q	65.00	Q 1,105.00
9	Válvulas de 4" Durman	2	Unidad	Q	375.00	Q 750.00
10	Tapón P.V.C. de 4"	13	Unidad	Q	12.00	Q 156.00
11	Yee P.V.C. de 4"	14	Unidad	Q	28.00	Q 392.00

Cuadro 21. (Continuación).

Filtro percolador de piedra volcánica o de río					
No.	MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO U.	TOTAL
12	Reductores P.V.C. de 4" a 3"	2	Unidad	Q 10.00	Q 20.00
13	Tubo P.V.C. de 6"	0.1	Unidad	Q 170.00	Q 17.00
14	Block de 0.20 m * 0.20 m * 0.40 m	1126	Unidad	Q 4.50	Q 5,067.00
15	Block de 0.15 m* 0.20 m* 0.40 m – 35 kg/cm ²	224	Unidad	Q 3.80	Q 851.20
16	Alambre de amarre	114	Libra	Q 4.50	Q 513.00
17	Tablas de 1" * 12" * 9'	4	Docena	Q 300.00	Q 1,200.00
18	Tablas de 1" * 12" * 12'	4	Docena	Q 300.00	Q 1,200.00
19	Reglas de 2" * 3" * 10'	3	Docena	Q 300.00	Q 900.00
20	Clavos de 3"	30	Libra	Q 4.50	Q 135.00
21	Clavos de 2"	30	Libra	Q 4.50	Q 135.00
Total de materiales					Q 56,850.45

Cuadro 22. Presupuesto total de materiales para la construcción de una PTAR en San Antonio Nejapa

TOTAL	Q	134,733.64
Imprevistos	Q	13,473.36
SUMA TOTAL	Q	148,207.00

La mano de obra para la construcción de una PTAR, se calcula en Q 375,000.00 más el 10% de imprevistos, lo cual equivale a un total de Q 412,500.00.

Esto quiere decir, que la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la aldea San Antonio Nejapa, actualmente se estaría ejecutando con un presupuesto mínimo de Q 560,707.00; lo cual equivaldría a un total de Q 1,121,414.00 para construir las dos plantas que se necesitan para tratar el 97% del agua residual de tipo ordinaria (doméstica) que actualmente se genera en la aldea San Antonio Nejapa.

➤ **Diseño digital de las PTAR de San Antonio Nejapa**

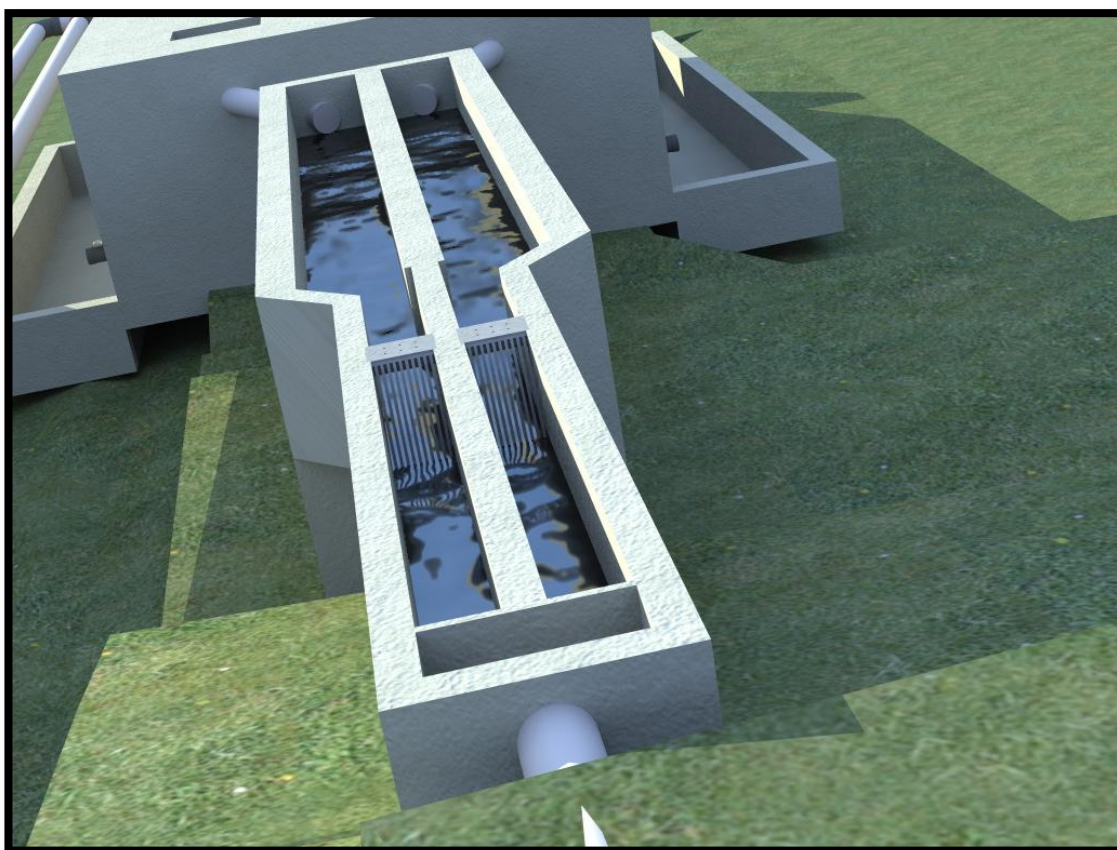


Figura 22. Canal de rejillas y desarenador



Figura 23. Trampa de grasas

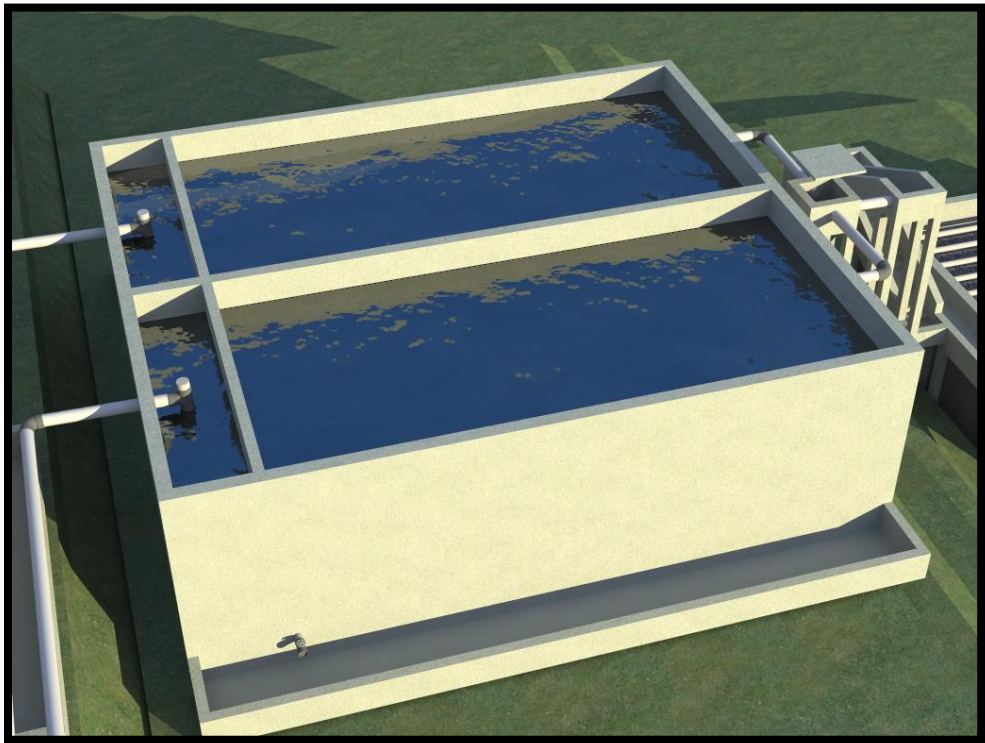


Figura 24. Sedimentador primario



Figura 25. Filtro percolador de piedra volcánica o de río

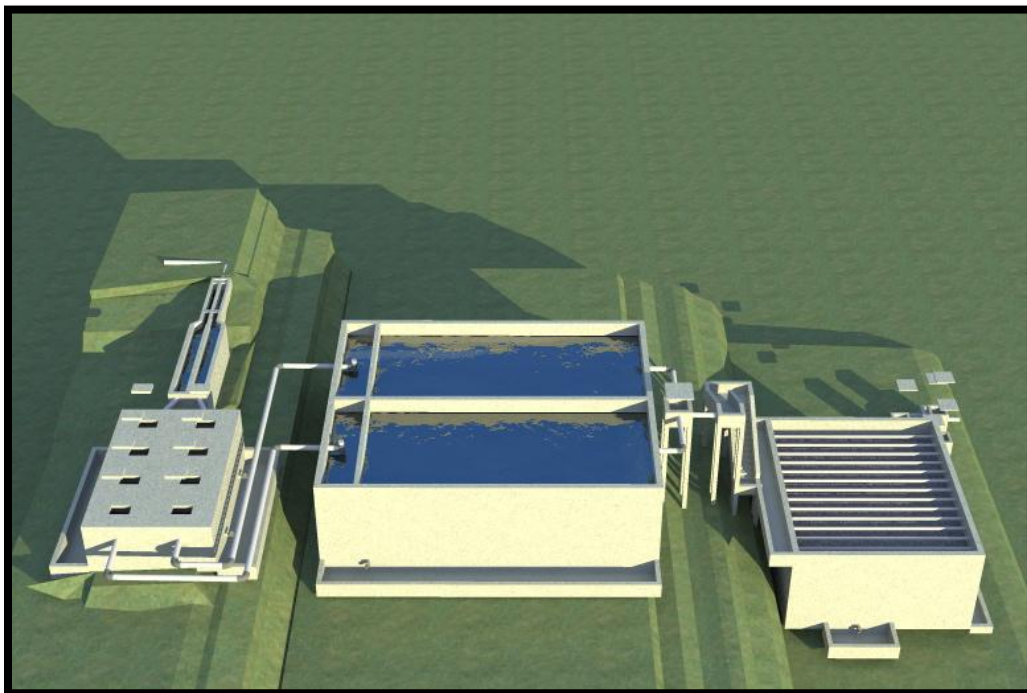


Figura 26. Propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales de la aldea San Antonio Nejapa

Anexo 4. Propuesta general del proceso de ejecución del proyecto

Cuadro 23. Actividades en el proceso de planificación y ejecución del proyecto de tratamiento de aguas residuales urbanas de San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango

Actividad	Objetivo	Responsable(s)	Tiempo
Socialización comunitaria del proyecto de tratamiento de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa	<p>Socializar los resultados de los análisis de las aguas residuales urbanas a los pobladores de la aldea San Antonio Nejapa; asimismo, las propuestas de tratamiento para las mismas.</p> <p>Obtener la aprobación y opinión de los pobladores de San Antonio Nejapa sobre el proyecto de tratamiento de las aguas residuales urbanas de dicha comunidad.</p>	Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) de Acatenango; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) delegación departamental de Chimaltenango; Asociación Sotz'il ONG; el autor de la "Evaluación y Propuesta de Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (ARU) de la aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango".	1 mes
Gestión de recursos financieros para la ejecución de las PTAR y los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el sitio (punto de origen)	Gestionar los recursos financieros necesarios para la construcción de las PTAR de San Antonio Nejapa, al igual que de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el sitio.	Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) de Acatenango; Asociación Sotz'il ONG.	6 meses

Cuadro 23. (Continuación).

Actividad	Objetivo	Responsable(s)	Tiempo
Solicitud de permisos de construcción y ejecución del proyecto	<p>Solicitar las respectivas autorizaciones para la construcción de las PTAR de San Antonio Nejapa y los sistemas de tratamiento en el sitio para aguas residuales domésticas.</p> <p>Contar con las licencias sanitarias para la ejecución de proyectos de saneamiento ambiental.</p>	<p>Municipalidad de Acatenango; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS); Asociación Sotz'il ONG.</p>	3 meses
Ejecución del proyecto de tratamiento de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa	<p>Construir las dos plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa</p> <p>Implementar los sistemas de tratamiento en el sitio para aguas residuales domésticas (sólo viviendas sin alcañtarillado público)</p>	<p>Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Municipalidad de Acatenango (UGAM y DMP); Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS); Asociación Sotz'il ONG; Organizaciones Comunitarias de San Antonio Nejapa.</p>	6 a 8 meses

Cuadro 23. (Continuación).

Actividad	Objetivo	Responsable(s)	Tiempo
Operación y mantenimiento	Contratar al personal encargado de la operación y mantenimiento de las PTAR de San Antonio Nejapa.	Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) de Acatenango;	Duración del proyecto – Máximo 30 años.
	Capacitar al personal encargado de la operación y mantenimiento de las PTAR de San Antonio Nejapa.	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN);	
	Evaluar cada 6 meses la calidad del tratamiento de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS); Organizaciones Comunitarias de San Antonio Nejapa.	

Sin embargo, como la fecha de cumplimiento para la primera etapa se encuentra cercana, la implementación de las medidas necesarias para el tratamiento de las aguas residuales urbanas de San Antonio Nejapa, se deben ejecutar a más tardar para el año 2017 (no más de nueve meses).

Anexo 5. Operación y mantenimiento de las PTAR de San Antonio Nejapa

La operación y mantenimiento de las PTAR de San Antonio Nejapa comprenden todas las actividades relacionadas con limpieza de los componentes de cada una de las PTAR (canal de rejas, desarenador, trampa de grasas, sedimentador primario y filtro percolador); tratamiento de lodos en el patio de secado; resguardo de los accesorios de la PTAR, tales como válvulas, tubos, tapaderas, entre otros; mantenimiento de las áreas verdes (si existieran); atención al público en caso de visitas programadas o no programadas; acceso a la información; registros de caudales, horarios y fechas de limpieza; y todo lo relacionado con el mantenimiento de las mismas; presupuesto el cual debe ser asignado por la municipalidad de Acatenango.

Para la operación de cada planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa, el personal mínimo deben ser dos guardias de seguridad y dos técnicos de operación de las mismas. Para lo cual se proponen los siguientes salarios y horarios de trabajo descritos en el **cuadro 24**.

Cuadro 24. Propuesta de salarios para el personal de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

Puesto	Horario de trabajo	Tipo de horario	Salario Mensual ^(b)
Seguridad ^(a)	17:00 – 8:00 horas	12 horas nocturnas y 3 diurnas	Q 3,150.00
Técnico de operación	8:00 – 17:00 horas	8 horas diurnas	Q 2,650.00

(a) Este puesto debe ejecutarse con turnos de los trabajadores.

(b) El salario mensual se calculó de acuerdo a la legislación guatemalteca sobre los salarios mínimos autorizados para el año 2017 por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social (MINTRAB) por medio del Acuerdo Gubernativo No. 288-2016. Por lo tanto, estos valores son fluctuantes en un rango de tiempo determinado.

La inversión mensual mínima en personal para la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa, se calcula en Q 11,600.00.

Se recomienda la elaboración de un manual técnico de operación y mantenimiento de las PTAR de San Antonio Nejapa, el cual debe ser revisado y avalado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS); y la Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) de Acatenango.

Anexo 6. Inversión en la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa

Cuadro 25. Equipo mínimo de cada PTAR de San Antonio Nejapa

Equipo	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio total	Tiempo de reemplazo
Botas de hule marca	2	Par	Q 70.00	Q 140.00	1 año
Gabacha Impermeable	2	Unidad	Q 50.00	Q 100.00	6 meses
Guantes de hule	6	Par	Q 15.00	Q 90.00	1 año
Pala	4	Unidad	Q 60.00	Q 240.00	2 años
Rastrillo	4	Unidad	Q 50.00	Q 200.00	2 años
Escoba	4	Unidad	Q 20.00	Q 80.00	1 año
Carreta	2	Unidad	Q 300.00	Q 600.00	5 años
Cubeta de 5 galones	4	Unidad	Q 20.00	Q 80.00	1 año
TOTAL				Q 1,530.00	

La inversión mensual en equipo mínimo de trabajo para cada PTAR de San Antonio Nejapa se calcula en Q 77.50; sumado al pago del personal (Q 11,600.00 para 2017), equivale a Q 11,677.50.

Para los pagos por servicios de agua entubada y energía eléctrica, se propone que se destinen Q 322.50 mensuales; por lo tanto, se calcula en Q 12,000.00 mensuales los gastos fijos de la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa.

Anexo 7. Informe de los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa elaborado por el laboratorio ECOQUIMSA

ECOQUIMSA
LABORATORIO ECOLÓGICO Y QUÍMICO

Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

**INFORME DE MONITOREO DE AGUA
RESIDUAL**

ASOCIACIÓN SOTZI'L

**PUNTO DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN EL
RÍO SAN ANTONIO**

**ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO,
CHIMALTENANGO**

PREPARADO POR:

LABORATORIO ECOQUIMSA

9a. avenida 3-08 colonia Alvarado zona 2 de Mixco, Guatemala, Centro América

PBX: 2322-3600

www.ecoquimsa.com.gt

Junio 2016

Punto de monitoreo
Punto de descarga B



INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Asociación Sotzi'l
Responsable: Sr. David Guadalupe Ramos Barrios
Dirección: 4o. callejón final casa 195 colonia San Rafael zona 2, Chimaltenango

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Punto de descarga de aguas residuales en el río San Antonio	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Punto de descarga B	Responsable del muestreo:	ENRIQUE CHAN
Fecha de monitoreo:	10 de junio de 2016	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	11:20	Recipiente utilizado:	Plástico, vidrio y bolsa esteril
Tipo de muestra:	Agua residual ordinaria	Método de muestreo:	PRO19-MUE
Código de muestra:	16-1482-1	Método de preservación:	INS04-MUE
Lote:	16-1482	Ubicación:	N 14°33'51.4" O 90°55'48.9"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 10 de junio de 2016
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 16:10
Fecha de informe: 27 de junio de 2016

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados
Arsénico	mg/L - As	0.0020	< 0.0020
Cianuro	mg/L - CN-	0.010	0.021
Color	u Pt-Co	1	252
Cromo (VI)	mg/L - Cr	0.010	< 0.010
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	10	540
Demanda Química de Oxígeno	mg/L - O ₂	5	862
Relación DQO/DBO	---	---	1.6
Fósforo Total	mg/L - P	0.070	6.32
Grasas y Aceites	mg/L	5	48
Materia Flotante	---	Presente/Ausente	Presente
Nitrógeno Total	mg/L - N	0.45	12.50
pH (in-situ)	---	0.01	7.26
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.10	3.0
Sólidos Suspendidos	mg/L	1	256
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	20.7
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	13,000,000

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades platino cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.


Laboratorio ECOQUIMSA
Inga. Bárbara Pinto Classon
Ingeniera Química
Colegiado No. 1714

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Asociación Sotzi'l
Responsable: Sr. David Guadalupe Ramos Barrios
Dirección: 4o. callejón final casa 195 colonia San Rafael zona 2, Chimaltenango

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Punto de descarga de aguas residuales en el río San Antonio
Referencia cliente: Punto de descarga B
Fecha de monitoreo: 10 de junio de 2016
Hora de monitoreo: 11:20
Tipo de muestra: Agua residual ordinaria
Código de muestra: 16-1482-1
Lote: 16-1482

Muestra simple o compuesta: Simple
Responsable del muestreo: ENRIQUE CHAN
Temperatura de almacenaje: 5 °C
Recipiente utilizado: Plástico
Método de muestreo: PRO19-MUE
Método de preservación: INS04-MUE
Ubicación: N 14°33'51.4"
O 90°55'48.9"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 10 de junio de 2016
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 16:10
Fecha de informe: 27 de junio de 2016

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	Método de análisis ⁽²⁾
Cadmio	mg/L - Cd	0.0080	< 0.0080	STM 3111 B
Cobre	mg/L - Cu	0.040	0.046	STM 3111 B
Mercurio	mg/L - Hg	0.00095	< 0.00095	STM 3112 B
Níquel	mg/L - Ni	0.300	< 0.300	STM 3111 B
Plomo	mg/L - Pb	0.060	< 0.060	STM 3111 B
Zinc	mg/L - Zn	0.075	0.213	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm

(2) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.


Laboratorio ECOQUIMSA

Inga. Bárbara Pinto Classon
Ingeniera Química
Colegiado No. 1714

Anexo 8. Fotografías y mapas de la evaluación de las aguas residuales urbanas de la aldea San Antonio Nejapa



Figura 27. Medición de la temperatura y pH de las aguas residuales



Figura 28. Medición de la temperatura del cuerpo receptor (río San Antonio)

Fuente: Fotografía tomada por Santos, A., 2016



Figura 29. Toma de muestras de aguas residuales



Figura 30. Medición de caudales de aguas residuales del punto de descarga A
Fuente: Fotografía tomada por Paz, M.J., 2016



Figura 31. Contaminación de la Quebrada Chajiyá por aguas residuales de San Antonio Nejapa



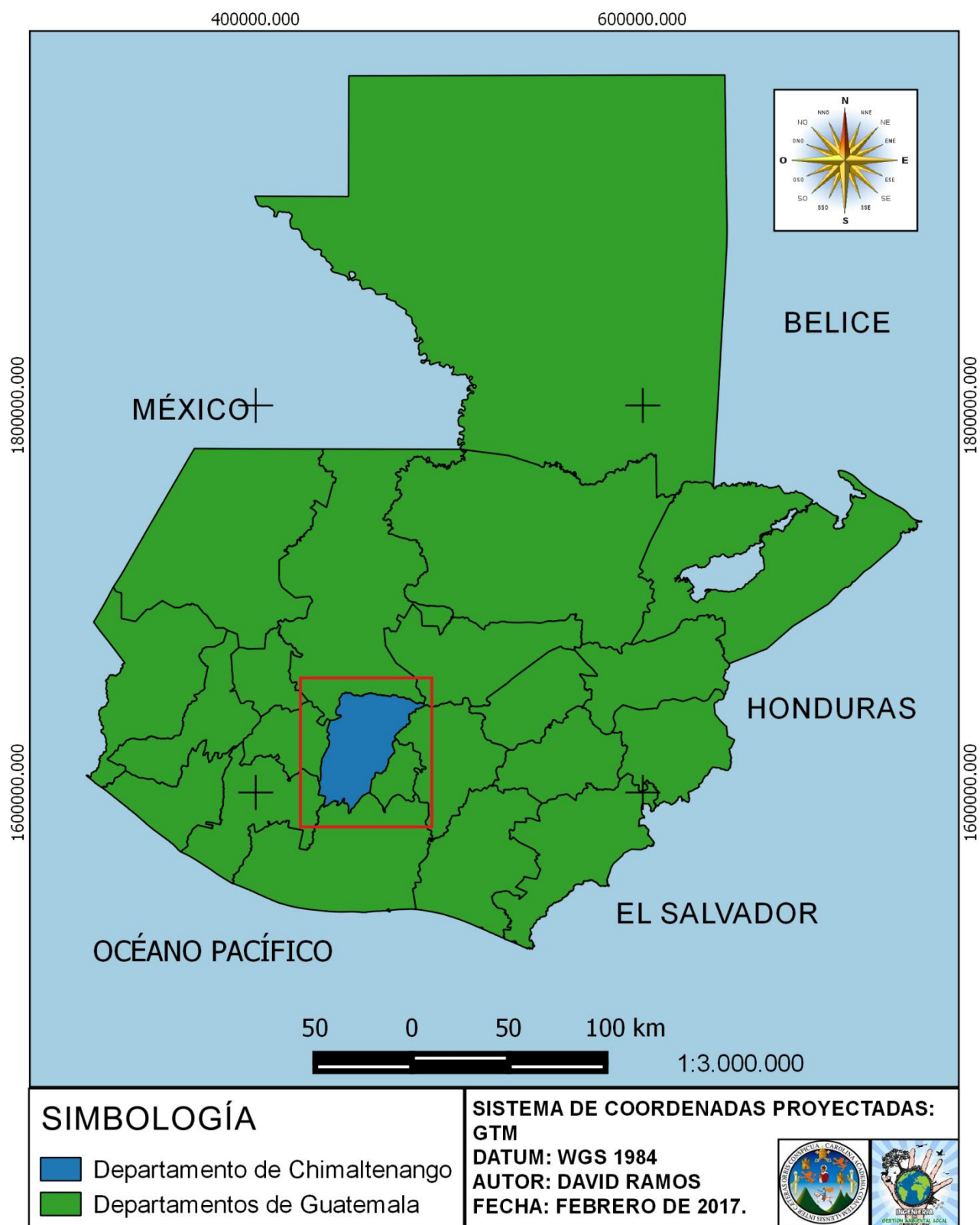
Figura 32. Toma de agua que se encuentra en el terreno disponible para la PTAR del punto de descarga A



Figura 33. Terreno disponible para la ejecución de la PTAR del punto de descarga A



Figura 34. Terreno disponible para la ejecución de la PTAR del punto de descarga B



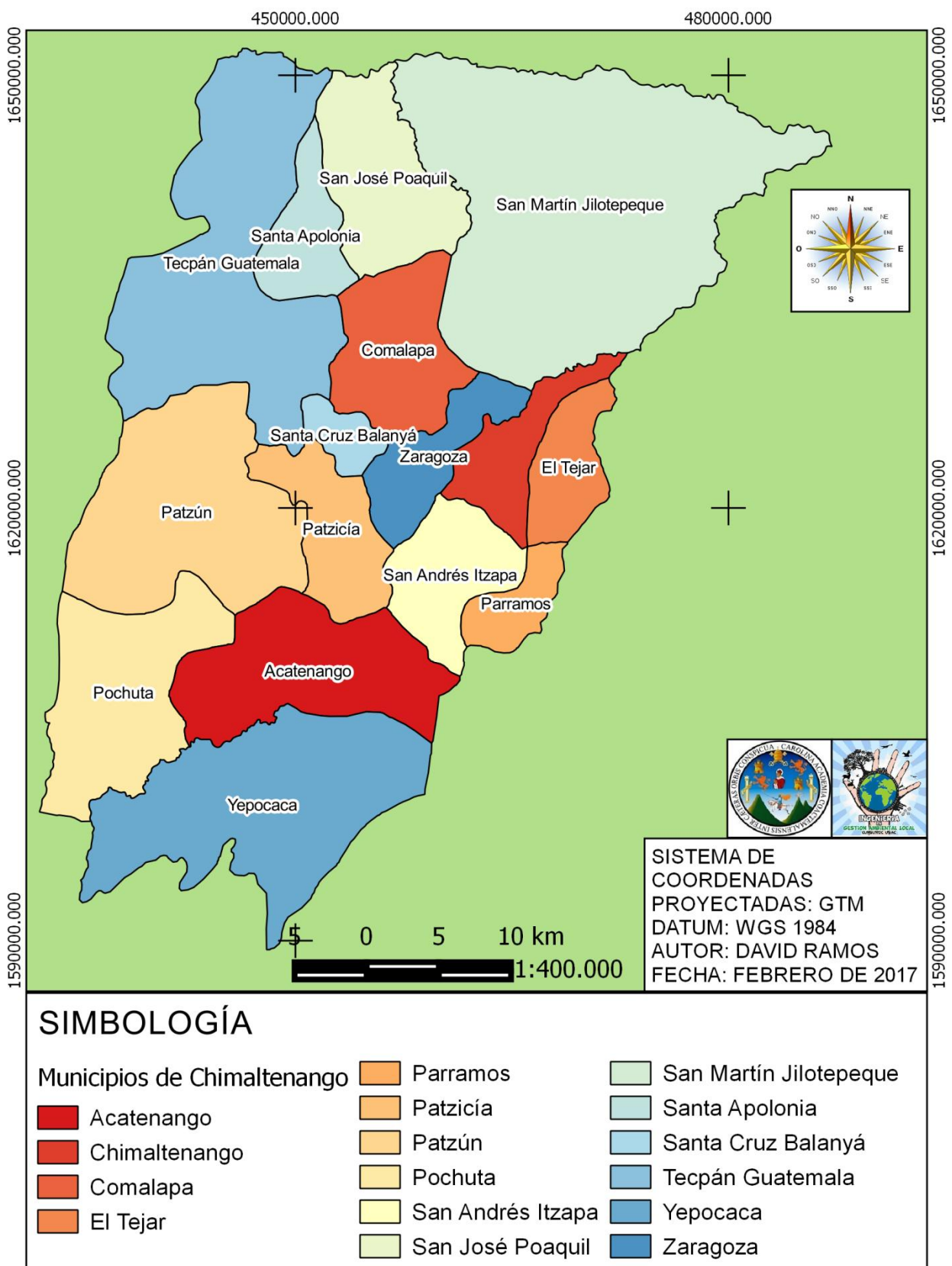


Figura 36. Municipios del departamento de Chimaltenango.

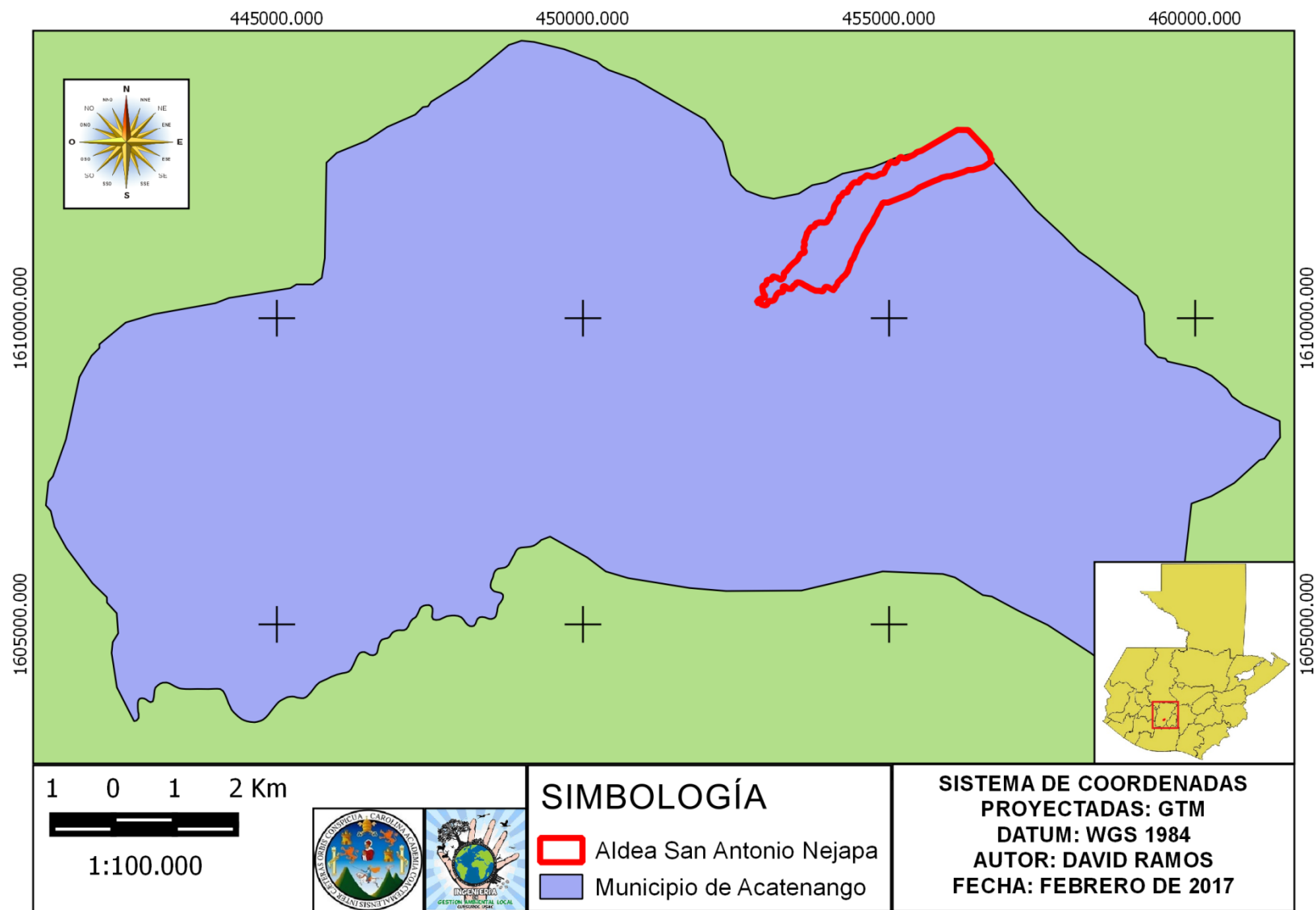


Figura 37. Ubicación de la aldea San Antonio Nejapa en el municipio de Acatenango

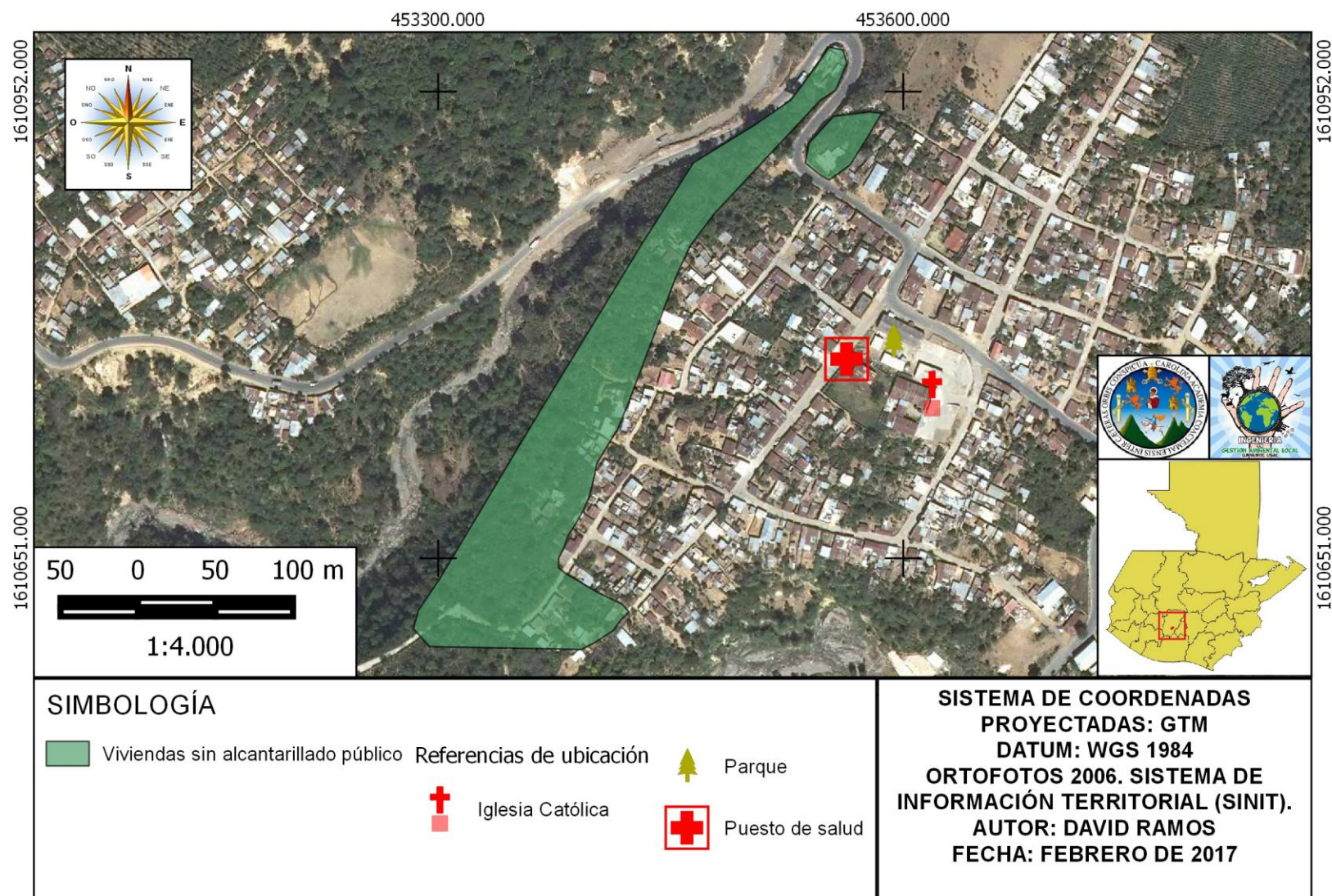


Figura 38. Zonas sin servicio de alcantarillado público de la aldea San Antonio Nejapa

Mazatenango 18 abril 2017

Inga. Agra. Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
Centro Universitario de Sur Occidente

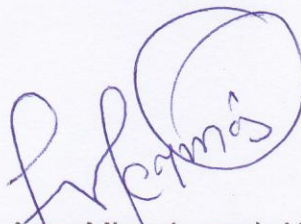
Estimada Ingeniera Cárdenas:

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para presentarle el informe final de investigación Inferencial titulado: **"EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS (ARU) DE LA ADEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO"**, presentada por el estudiante: **David Guadalupe Ramos Barrios**, quien se identifica con número de carné 201131290, dentro del programa de Ejercicio Profesional supervisado de la carrera de Ingeniería e Gestión Ambiental Local –EPSIGAL–.

Este documento se presenta para que de acuerdo con el artículo seis, inciso 6.4 del Normativo de Trabajo de Graduación, pueda a través de sus buenos oficios darse el procedimiento para poder ser considerado como Trabajo de Graduación, para la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local.

Con altas muestras de estima y respeto.

Atentamente



Inga. Agra. Mirna Lucrecia Vela
Supervisora de EPSIGAL
Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Mirna Lucrecia Vela A.
Ingeniera Agrónoma
Col. No. 3,944

Mazatenango, 02 de mayo del 2017

Inga. Iris Yvonne Cárdenas Sagastume
Coordinadora de la Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Respetable ingeniera Cárdenas

Respetuosamente me dirijo a usted para informarle que de acuerdo al artículo nueve, del Normativo de Trabajo de Graduación de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, se realizó la revisión y observaciones de la investigación titulada "Evaluación y propuesta de tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (ARU) de la Aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango" presentado por el estudiante: David Guadalupe Ramos Barrios, quien se identifica con carné 201131290 y CUI 2097251331001.

Por lo tanto, en mi calidad de revisor le informo que después de realizar el proceso que se asignó y verificar la incorporación de las observaciones por parte del estudiante a la investigación, procedo a dar el visto bueno al documento para que se continúe con el proceso de mérito.

Respetuosamente, se despide de usted

Atentamente



Eysen Rodrigo Enríquez Ochoa
Ingeniero Agrónomo
Revisor de Trabajo de Graduación

Mazatenango 03 de mayo 2017

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano
Director
Centro Universitario del Suroccidente

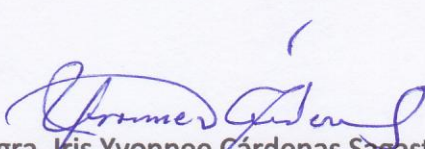
Respetable Señor Director:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirle el Informe Final de Trabajo de Graduación **"Evaluación y Propuesta de Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (ARU) de la Aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango"**, del estudiante **David Guadalupe Ramos Barrios** con carné número **201131290**, CUI **2097251331001**, de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por MSc. Eysen Rodrigo Enríquez Ochoa, revisor del informe, el cual fue corregido de acuerdo a las recomendaciones indicadas.

Por lo tanto, en mi calidad de Coordinadora de la Carrera, me permito solicitarle el **IMPRÍMASE** respectivo para que el estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular


Inga. Agra. Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-02-2017

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, el cuatro de julio de dos mil diecisiete-----

ENCONTRÁNDOSE AGREGADOS AL EXPEDIENTE LOS DICTÁMENES DEL ASESOR Y REVISOR, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: **“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS (ARU) DE LA ALDEA SAN ANTONIO NEJAPA, ACATENANGO, CHIMALTENANGO”**, DEL ESTUDIANTE: **DAVID GUADALUPE RAMOS BARRIOS**, CARNÉ **201131290** DE LA CARRERA INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, enclosed within an oval-shaped stamp.

Dr. Guillermo Vinicito Tello Cano
Director



/gris